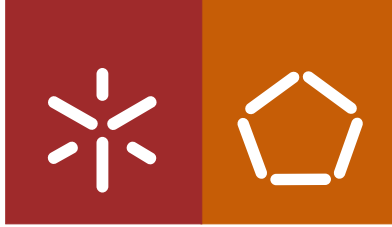


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Liliana Sofia da Silva Simões

Comportamento acústico de blocos de
terra compactada ativados alcalinamente



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Liliana Sofia da Silva Simões

Comportamento acústico de blocos de terra compactada ativados alcalinamente

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Dinis Leitão
e da
Professora Sandra Silva

julho de 2015

DECLARAÇÃO

Nome: Liliana Sofia da Silva Simões

Endereço eletrónico: lilianassimoes@gmail.com

Telefone: 913249503

Número do Bilhete de Identidade: 13786777

Título dissertação ☐/tese ☐

Comportamento acústico de blocos de terra compactada ativados alcalinamente

Orientador(es):

Professor Dinis Leitão

Professora Sandra Silva

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento:

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO
APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE
DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE
COMPROMETE;

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura: _____

Agradecimentos

Apesar de ser um trabalho pessoal, quero deixar aqui expresso o meu reconhecido agradecimento a todos os que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação.

Ao Professor Dinis Leitão, na qualidade de meu orientador, pelo apoio, consideração, auxílio, partilha de conhecimento e disponibilidades prestada durante a realização deste trabalho. À Professora Sandra Silva, na qualidade de minha coorientadora, pela partilha de conhecimento, disponibilidade e apoio sempre prestado. Agradeço, a ambos, tudo o que me ensinaram enquanto professores e todas as sugestões que me deram ao longo deste trabalho.

Ao técnico do Laboratório de Física e Tecnologias das Construções, o Engenheiro Daniel Pinheiro, e ao Edgar Soares por todo o apoio prestado aquando da realização dos ensaios, e por toda a disponibilidade que sempre demonstraram.

Agradeço aos meus amigos e colegas por todas as trocas de informação, palavras de incentivo e paciência demonstrada durante a realização deste trabalho. Quero agradecer em especial à Helena, a amiga de sempre, pela amizade, lealdade, ajuda e companheirismo que sempre prestou ao longo destes anos.

Por ultimo, um agradecimento aos meus pais e irmãs, especialmente à minha mãe, por me terem proporcionado as melhores condições para que pudesse fazer todo o meu percurso até aqui.

Resumo

Ao longo dos anos, a construção em terra, tem vindo destacar-se tanto na engenharia civil como a nível arquitetónico. As vantagens são muitas quando comparada com outras soluções construtivas convencionalmente utilizadas nos países desenvolvidos, que se baseiam na utilização de betão armado e alvenaria de tijolo cozido.

Existem diferentes técnicas de construção em terra, contudo, o adobe é ainda a mais popular e a mais utilizada. Com a grande necessidade de se encontrar materiais e técnicas sustentáveis, o uso de bloco de terra compactada (BTC) está a tornar-se cada vez mais conhecido. É uma técnica relativamente recente e a produção consiste em compactar mecanicamente a terra num molde para que assim se diminua a porosidade e aumente a resistência.

Contudo, é uma técnica com algumas limitações, como a diminuta adequabilidade dos solos disponíveis no local. Resultados obtidos por estudos anteriores com solos residuais graníticos da região Minho, ativados alcalinamente por cinzas volantes, são bastantes satisfatórios a nível de resistência dos blocos.

Nesta dissertação pretende-se avaliar experimentalmente o comportamento acústico de blocos de terra, com solo residual granítico do Minho, compactada e estabilizada com recurso à ativação alcalina de cinzas volantes. A aplicação desta técnica (relativamente recente) ao desenvolvimento de BTCs é inovadora e espera-se que os resultados possam demonstrar o potencial de sustentabilidade da mesma e de adequação às exigências mínimas de isolamento acústico definidas nos Regulamentos e nas Normas de Desempenho Acústico dos Edifícios.

Palavras-chave: Blocos de Terra Compactados (BTC's), Isolamento Acústico.

Abstract

Over the years, the earth construction, has a distinguished both in civil engineering, such as architectural level. There are many advantages when compared with other constructive solutions conventionally used in developed countries, which rely on the use of reinforced concrete and brickwork cooked.

There are different construction techniques in earth, however, adobe is still the most popular and most used. With great need to find sustainable materials and techniques, the use of compressed earth block (BTC) are becoming increasingly well known. It is a relatively recent technique, and the production is to mechanically compact the soil into a mold to thereby decrease the porosity and increase strength.

However, it is a technique with some limitations, such as reduced suitability of the soil on site. Results of previous studies with granitic residual soils of the Minho region, alkali-activated by fly ashes, are quite satisfactory to the blocks resistance level.

This dissertation aims to experimentally evaluate the acoustic behavior of earth blocks, with granitic residual soil of Minho, compacted and stabilized using the alkaline activation of fly ashes. The application of this technique (relatively recent) at the developing of BTC's is innovative and it is expected that the results can demonstrate the potential sustainability of the workstation and adaptation to the minimum requirements of sound insulation defined in the Regulations and in the buildings Acoustic Performance Standards.

Keywords: Compressed Earth Blocks (BTC's), Acoustic Insulation.

Simbologia

BTC	Bloco de terra comprimida
SRG	Solo residual granítico
RRAE	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
L_1	Medição do compartimento emissor
L_2	Medição do compartimento recetor
L_b	Medição do ruído de fundo
$D_{n,T}$	Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado
$D_{nT,w}$	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea
R	Índice de redução sonora aparente
R_w	Índice de redução sonora
CO_2	Dióxido de carbono
SiO_2	Dióxido de silício
Al_2O_3	Óxido de alumínio
Fe_2O_3	Óxido de ferro
$NaOH_2$	Hidróxido de sódio
Na_2SiO_2	Silicato de sódio
Ca	Cálcio
Na	Sódio
Cm	Centímetro
M	Metro
dB	Decibéis
°C	Graus celsius

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract	vi
Simbologia	vii
1. Introdução.....	1
1.1 Considerações gerais	1
1.2 Âmbito e objetivo.....	3
1.3 Metodologia	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	4
2. Estado da Arte	7
2.1 Introdução	7
2.2 Evolução histórica da construção em terra.....	7
2.3 Construção em Terra em Portugal.....	9
2.4 Vantagens da construção em terra.....	10
2.5 Limitações das construções em terra.....	11
2.6 Diferentes formas da construção em terra.....	11
2.6.1 Adobe	13
2.6.2 Taipa.....	14
2.6.3 Tabique.....	16
2.6.4 BTC	17
2.7 Adequabilidade dos solos.....	21
2.7.1 Ensaios para a caracterização do solo	21
2.8 Técnicas de estabilização	25
2.8.1 Principais métodos de estabilização.....	26
2.8.2 Métodos Inovadores de estabilização.....	27

2.9 Comportamento acústico.....	27
2.10 Breve história da evolução da acústica de edifícios	28
2.11 Importância do comportamento acústico dos materiais	30
2.12 Regulamentação acústica em Portugal	30
3. Caracterização e Processo de Fabrico	33
3.1 Introdução	33
3.2 Descrição dos Materiais Utilizados.....	33
3.2.1 Solo residual Granítico.....	33
3.2.2 Cinzas volantes.....	36
3.2.3 Ativação Alcalina.....	39
3.3 Quantidades.....	40
3.4 Processos de produção de BTC	41
3.4.1 Preparação e pesagem	42
3.4.2 Mistura dos materiais	44
3.4.3 Prensagem	46
3.4.4 Cura dos blocos	47
3.5 Geometria do BTC	48
3.6 Considerações finais.....	49
4. Ensaio de caracterização acústica dos BTC.....	51
4.1 Considerações iniciais	51
4.2 Ensaio Acústico.....	51
4.2.1 Materiais e equipamentos	52
4.2.2 Instalação de equipamento e medição	56
4.2.3 Procedimento de cálculo	62
4.4 Considerações finais.....	63
5. Resultados	65
5.1 Considerações iniciais.....	65
5.2 Análise de resultado	65

5.2.1 Parede simples sem betume.....	66
5.2.2 Parede simples com betume	73
5.2.3 Parede com betume e isolamento de 2 cm.	80
5.3 Comparação com o RRAE e com soluções convencionais	88
5.3.1 Comparação com o RRAE	88
5.3.2 Comparação com soluções convencionais	91
5.4 Considerações finais.....	92
6. Conclusões finais e desenvolvimentos futuros.....	95
6.1 Conclusões	95
6.2 Desenvolvimentos futuros.....	96
Referências Bibliográficas	97

Índice de Figuras

Capítulo 1

Figura 1. 1: Técnicas de construção em terra: (a) adobes sendo fabricados, (b) construção de uma parede de taipa, (c) parede de taipa.	2
---	---

Capítulo 2

Figura 2. 1: Distribuição da construção em terra pelo mundo	8
Figura 2. 2: Construções em Terra: (a) Zigurates, região Mesopotâmia; (b) Mastabas, Egito.	9
Figura 2. 3: Localização das técnicas construtivas que utilizam terra em Portugal.	10
Figura 2. 4: Técnicas de construção em terra (Houben e Guilloud, 1989).....	12
Figura 2. 5: Adobes: (a) Blocos de adobe; (b) Construção em adobe.	13
Figura 2. 6: Taipa: (a) Taipais da construção em taipa; (b) Pilões de compactação.	14
Figura 2. 7: Taipa: (a) Construção antiga; (b) Construção moderna.	16
Figura 2. 8: Tabique: (a) Pormenor de construção em Tabique; (b) Construção em tabique.....	17
Figura 2. 9: (a) Antiga construção em de tabique; (b) Nova construção em tabique.	17
Figura 2. 10: Exemplo de uma prensa Cinva-ram.....	18

Figura 2. 11: Produção BTCs: (a) de imprensa Terstaram, (b) BTC na prensa; (c) BTC depois de sair do molde.....	19
Figura 2. 12: Prensa hidráulica.....	20
Figura 2. 13: Construção da parede.....	20
Figura 2. 14: Ondas refletidas e refratadas (Gonçalves,2007)	28

Capítulo 3

Figura 3. 1: Solo residual granítico do Minho.....	34
Figura 3. 2: Fuso recomendado por <i>Houben e Guillaud</i> (2008).....	36
Figura 3. 3: Cinzas volantes	37
Figura 3. 4: Hidróxido de sódio em estado sólido.....	39
Figura 3. 5: (a) Destorroamento com recurso enxada; (b) Secagem.	42
Figura 3. 6: Mistura de hidróxido de sódio e água.....	43
Figura 3. 7: Pesagem dos três constituintes: (a) Solo; (b) Cinzas; (c) Ativador.	44
Figura 3. 8: Mistura sólida homogênea.....	45
Figura 3. 9: (a) Introdução do ativador; (b) Formação de grânulos; (c) Utilização da colher de padeiro.....	46
Figura 3. 10: (a) Retirada da mistura; (b) Pesagem quantidade para 1 BTC.....	46
Figura 3. 11: (a) Aplicação do óleo; (b) Espalhamento e nivelção manual; (c) BTC pronto.	47
Figura 3. 12: Diferentes estados de cura do BTC: (a) Estado fresco; (b) Algumas horas de cura; (c) Algumas semanas de cura.....	48
Figura 3. 13: (a) As dimensões do bloco (em mm), (b) Parede de folha simples, (c) Parede de folha dupla.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 3. 14: Aparecimento de eflorescências	50

Capítulo 4

Figura 4. 1: Câmara de reverberação.....	52
Figura 4. 2: (a) Sonómetro; (b) Sonómetro a medição.....	53
Figura 4. 3: Exemplo de calibrador acústico.....	53
Figura 4. 4: Gerador de ruído	54
Figura 4. 5: Fonte sonora.....	55
Figura 4. 6: A- cabo gerador de ruído / fonte sonora refª C6658/20-01; B- cabo sonómetro / gerador de ruído refª C6660/5	55
Figura 4. 7: (a) Tripé; (b) Tripé com o sonómetro.	56

Figura 4. 8: Câmara de reverberação e pódio móvel com a parede simples em BTC.	57
Figura 4. 9: (a) Painel de controlo de distância; (b) Material de interface	58
Figura 4. 10: Regras de posicionamento do sonómetro	60

Capítulo 5

Figura 5. 1: Curva de referência e $D_{n,T}$	67
Figura 5. 2: Curva de referência e R	68
Figura 5. 3: Curva de referência e $D_{n,T}$	70
Figura 5. 4: Curva de referência e R	72
Figura 5. 5: Curva de referência e $D_{n,T}$	74
Figura 5. 6: Curva de referência de R	76
Figura 5. 7: Curva de referência e $D_{n,T}$	78
Figura 5. 8: Curva de referência e R	79
Figura 5. 9: Curva de referência e $D_{n,T}$	82
Figura 5. 10: Curva de referência e R	83
Figura 5. 11: Curva de referência e $D_{n,T}$	85
Figura 5. 12: Curva de referência e R	87
Figura 5. 13: Gráfico de comparação do R_w das paredes	92

Índice de Tabelas

Capítulo 2

Tabela 2. 1: Tabelas com as técnicas de construção em terra segundo Houben e Guillaud (1989)	12
---	----

Capítulo 3

Tabela 3. 1: Resultados obtidos na análise do solo residual granítico	35
Tabela 3. 2: Resultados da compressão de BTC	38
Tabela 3. 3: Composição da mistura para o fabrico do BTC	41
Tabela 3. 4: Quantidades necessárias para produção de BTC.....	41
Tabela 3. 5: Quantidades em Kg	44

Tabela 3. 6: Dimensões do bloco	49
---------------------------------------	----

Capítulo 4

Tabela 4. 1: Correção do ruído de fundo.....	62
--	----

Capítulo 5

Tabela 5. 1: Resultados da primeira medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}	66
Tabela 5. 2: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$	68
Tabela 5. 3: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor R_w	69
Tabela 5. 4: Resultados da segunda medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}	69
Tabela 5. 5: Calculo dos desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$	71
Tabela 5. 6: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor de R_w	72
Tabela 5. 7: Resultados da primeira medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}	73
Tabela 5. 8: Calculo dos desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$	75
Tabela 5. 9: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor de R_w	76
Tabela 5. 10: Resultados da segunda medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}	77
Tabela 5. 11: Calculo dos desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$	79
Tabela 5. 12: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor de R_w	80
Tabela 5. 13: Resultados da primeira medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}	81
Tabela 5. 14: Desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$	82
Tabela 5. 15: Desvios desfavoráveis para o valor de R_w	84
Tabela 5. 16: Resultados da primeira medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}	84
Tabela 5. 17: Desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$	86
Tabela 5. 18: Desvios desfavoráveis para o cálculo do valor de R_w	87
Tabela 5. 19: Resultado das medições e da média aritmética de $D_{nT,w}$	89
Tabela 5. 20: Tabela Resumo de comparação com os requisitos do regulamento	90
Tabela 5. 21: Tabela dos resultados das medições e da média do R_w	91

Tabela 5. 22: Valores de R_w de paredes tradicionais retirados do catálogo Preceram	92
---	----

Capítulo 1

Introdução

1.1 Considerações gerais

O isolamento acústico é um ramo cada vez mais importante na sociedade uma vez que provoca um efeito incómodo e nocivo sobre o ser humano. Alguns dos efeitos provocados são a perda de audição devido à exposição contínua a níveis sonoros altos, o aumento da pressão arterial, a aceleração da pulsação, a dilatação das pupilas, o aumento da produção de adrenalina, a reação muscular e a contração dos vasos sanguíneos. O ruído não só dificulta a comunicação verbal entre as pessoas como também, influencia diretamente o comportamento fisiológico e emocional das pessoas em qualquer situação e ambiente.

Com o intuito de reduzir os efeitos do ruído, garantido ambientes nos edifícios adequados à qualidade de conforto acústico, que permitam o bem estar das pessoas que os frequentam e, conseqüentemente, um melhor nível de vida, muitas técnicas e produtos foram, até agora, desenvolvidos na construção civil.

As construções em terra podem ser consideradas como uma dessas técnicas. Estas construções trazem benefícios ambientais, sociais, culturais e económicos. Para a construção de habitações populares elas podem ter um significado ainda melhor, vindo a recuperar a tradição histórica desta tipologia de construção em Portugal, valorizando a sua cultura. Sendo um material em abundância e disponível em grande maioria das regiões, o uso da terra crua para construções sociais surge como uma resposta possível para as edificações ecoeficientes e sustentáveis.

A terra como material de construção tem uma pluralidade muito grande ao nível de técnicas e dos elementos construtivos. Sendo assim, esta pode ser escavada, empilhada, modelada, prensada, apiloada (compactada), recortada, extraída e moldada. Pode servir também para fazer o recobrimento, o enchimento ou a cobertura de estruturas. Existem

diversos modos de construir e podem ser utilizadas diversas técnicas construtivas consoante o tipo de terra disponível.

Dentro das principais técnicas tradicionais de construção baseadas no uso da terra em Portugal, encontram-se o tabique, o adobe e a taipa, conforme pode ser observado na Figura 1.1. A construção em taipa foi a mais disseminada. A taipa era a técnica mais utilizada, até meados dos anos cinquenta do século XX, no Baixo Alentejo e sul do Alto Alentejo. O adobe foi utilizado mais ao centro litoral, em Aveiro especificamente. As construções em terra foram deixadas de lado com o surgimento do betão, que é atualmente o material mais utilizado.

O bloco de terra compactada (BTC) é outro sistema construtivo sustentável, mas até agora não foi muito difundido em Portugal.



Figura 1. 1: Técnicas de construção em terra: (a) adobes sendo fabricados, (b) construção de uma parede de taipa, (c) parede de taipa.

Com o objetivo de se conhecer mais sobre esta nova técnica construtiva foram fabricados BTC, nos laboratórios de Engenharia Civil da Universidade do Minho. Estes BTC têm como principal constituinte o solo residual granítico da região do Minho (norte de Portugal) estabilizado com ativação alcalina de cinzas volantes. Visto ser uma nova técnica com novos constituintes, torna-se imprescindível o conhecimento de todas as suas propriedades.

1.2 Âmbito e objetivo

Com o desenvolvimento deste tema pretende-se avaliar experimentalmente o comportamento acústico de blocos de terra compactada com solo residual granítico do Minho e ativados alcalinamente por cinzas volantes. Esta é uma técnica relativamente recente e por isso inovadora no desenvolvimento dos BTCs. Espera-se, portanto, que o resultado venha demonstrar um potencial de sustentabilidade da mesma e de adequação às exigências mínimas de isolamento acústico definidas nos Regulamentos e Normas de Desempenho Acústico dos Edifícios.

A utilização de referências, nacionais e internacionais, são essenciais na admissão de fiabilidade e veracidade da informação existente nesta dissertação.

Importa ainda referir que este tema é um trabalho inovador, uma vez que ainda não foi estudado o comportamento acústico em blocos de terra compactados ativados alcalinamente.

1.3 Metodologia

A realização deste trabalho de investigação começou por um estudo/ levantamento, através de pesquisa bibliográfica intensa, sobre o tema em questão, que permitiu ter noção do que se tem vindo a desenvolver na área. A pesquisa continuou de forma mais ligeira ao longo do trabalho experimental.

É um trabalho de carater experimental, uma vez que visa o conhecimento através de uma aplicação prática e experimental da ativação alcalina através de cinzas volantes na estabilização de solo residual granítico do Minho para produção dos BTC's e utilizando recursos laboratoriais.

A parte experimental começou pela produção de BTC, de seguida construiu-se a parede na câmara do laboratório de Física e Tecnologias das Construções da Universidade do Minho e por fim procedeu-se à realização dos ensaios acústicos. Estes ensaios foram realizados em três tipos de paredes diferentes e em cada parede foram feitas duas medições para que no fim fosse possível fazer uma média dos valores para cada tipo de

parede. Os três tipos de paredes utilizadas foram: i) Parede simples; ii) Parede com junta tapada; iii) Parede com isolamento (aglomerado de cortiça de 2cm).

1.4 Estrutura da dissertação

Este documento divide-se em 6 capítulos e referências bibliográficas, apresentando 3 partes fundamentais: a primeira incide sobre o estado do conhecimento, a segunda ligada ao processo de fabrico e caracterização dos ensaios e, por fim, a terceira em que se expõem os resultados obtidos e se apresentam as conclusões e os desenvolvimentos futuros.

O primeiro capítulo apresenta os objetivos, a metodologia e a estrutura desta dissertação.

O segundo capítulo consiste na apresentação do resultado da pesquisa efetuada do estado de arte. Neste capítulo apresenta-se um resumo da história da construção em terra, sendo também apresentado, um breve esclarecimento sobre as técnicas mais conhecidas da construção em terra. É ainda abordada a principal legislação disponível sobre o comportamento acústico, com a identificação dos principais requisitos da importância da acústica dos materiais.

No terceiro capítulo apresentada a caracterização e o processo de fabrico dos BTC. De uma forma mais pormenorizada serão descritos os materiais utilizados, a razão da sua escolha e detalhado processo de fabrico.

No quarto capítulo será aprofundado principal objetivo de estudo deste trabalho prático, o ensaio acústico dos BTC. Inicialmente é descrito o ensaio acústico e as normas utilizadas para a realização do ensaio, de seguida é definida a metodologia de ensaio e apresentados todos os equipamentos que foram utilizados e os locais em que foram os locais escolhidos para as mediadas. A metodologia é baseada em dois documentos internos, baseados nas normas de ensaios, fornecidos pelo Laboratório de Física e Tecnologia das Construções, onde está descrito ao pormenor todo o processo, desde a instalação e funcionamento dos equipamentos, até à parte das medições.

No quinto capítulo apresentam-se os resultados obtidos e é feita uma comparação destes resultados com os valores mínimos recomendados pelo regulamento do comportamento acústico e com os valores obtidos para outros sistemas de paredes convencionais.

No sexto e último capítulo são apresentadas as conclusões sobre os resultados do trabalho realizado e são identificadas propostas de desenvolvimentos futuros.

A bibliografia é composta por todas as referências bibliográficas que foram consultadas para a realização desta dissertação.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 Introdução

Desde tempos remotos que a construção com materiais naturais tem sido utilizada pelo Homem como forma de proteção, sofrendo processos de evolução ao longo do tempo relacionados com as diferentes técnicas de utilização.

A terra, devido à sua abundância e facilidade de utilização, é dos materiais mais antigos utilizados pelo Homem. Construções em terra como Jericó (Israel), Çatalhöyük (Turquia), Harappa (Paquistão) e Akhet-Aten (Egipto) são provas arqueológicas dessa construção.

Cerca de 30% da população mundial vive atualmente em construções de terra crua. Nos países em desenvolvimento este número representa mais de metade da população. Por outro lado, a forte utilização deste material na construção, nos últimos séculos, leva a que exista um património importante com urgência de preservação. De referir que, 10% dos sítios ou monumentos classificados como património mundial, são total ou parcialmente construções em terra, e que 16% da lista do património em risco são também construídos em terra.

As técnicas de construções em terra mais utilizadas e conhecidas são o adobe, a taipa e o tabique. Recentemente apareceu a técnica de BTC, mas ainda é pouco explorada. Mais à frente será abordado mais profundamente cada uma das técnicas.

2.2 Evolução histórica da construção em terra

É difícil dizer exatamente qual a data e o local em que surgiram as construções em terra, contudo, estima-se que tenha surgido à cerca de dez mil anos.

Sabe-se que construção a em terra é a técnica construtiva mais antiga e mais amplamente utilizada pelo Homem em todo o mundo (Figura 2). Esta construção surgiu da necessidade básica do ser humano.



Figura 2. 1: Distribuição da construção em terra pelo mundo

As construções mais antigas remetem-nos para a região da Mesopotâmia e ao antigo Egito. Apesar de este material ser comum em à maioria dos locais do mundo, a região da Mesopotâmia possui duas características que facilmente os coloca próximo das primeiras construções em terra.

A presença de rios é a primeira característica indispensável e na qual o processo geológico de milhares de anos, possa ter proporcionado a sedimentação de material para a formação de argila. O clima naturalmente seco é a segunda característica desta região, o rendimento de conforto para o interior são melhores com as construções em barro.

Pode dizer-se, que praticamente todas as antigas civilizações usaram a terra como material nas suas construções.



Figura 2. 2: Construções em Terra: (a) Zigurates, região Mesopotânia; (b) Mastabas, Egito.

Os sumérios, os assírios e babilônios construíram os zigurates (Figura 2.2(a)), um templo em forma de pirâmide, os egípcios construíram as mastabas (Figura 2.2(b)), túmulos em forma de pirâmide.

A muralha da china é outro exemplo também da construção em terra, talvez seja a mais antiga edificação de taipa ainda existente. Foi construída inicialmente com paliçadas de madeira e barro, só mais tarde foi recoberta de pedras para adquirir a sua composição atual.

Mesmo antes de ser colonizada, na América as tribos já utilizavam a terra para construção. Os astecas construíram a pirâmide de deus sol inicialmente com toneladas de terra batida.

2.3 Construção em Terra em Portugal

Cláudio Torres em “Arquitetura de terra em Portugal” fala do aparecimento da construção em terra na Península Ibérica por volta do século XI e foi usada em Portugal até meados do século passado.

As principais técnicas utilizadas em Portugal são a taipa, o adobe e o tabique. A taipa é utilizada mais na zona sul do país, o adobe mais na zona centro com alguns vestígios

também no Alentejo e o tabique distribui-se pela zona do Alto Douro e Trás-os-Montes, como se pode ver através da Figura 2.3. Através da referida figura, pode também concluir-se que não existe vestígios de construções em terra da zona do Minho.

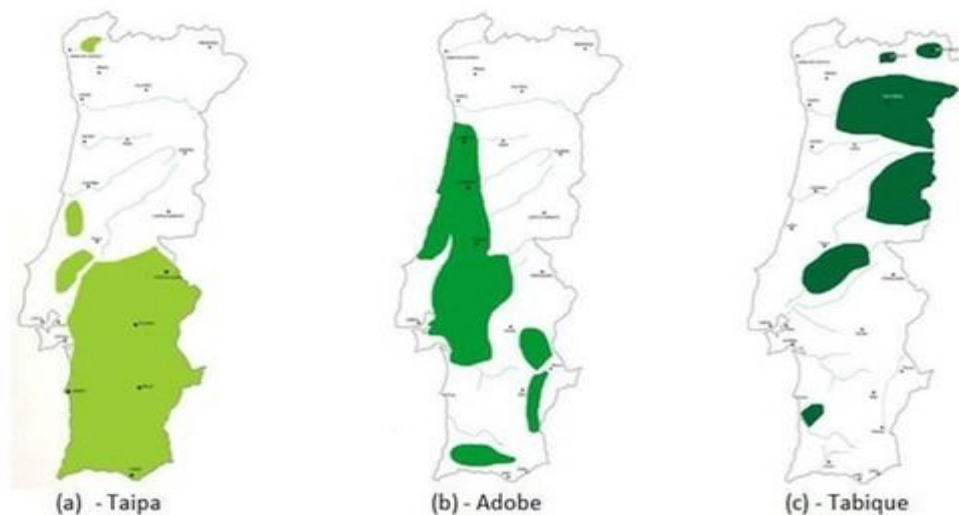


Figura 2. 3: Localização das técnicas construtivas que utilizam terra em Portugal.

2.4 Vantagens da construção em terra

São enumeras as vantagens do uso da terra como material de construção, designadamente (Adam & Agib, 2011):

- Vantagem económica: a terra é um recurso normalmente existente no local ou conseguido a baixo preço, podendo reduzir consideravelmente o custo de obra, tornando-se portanto mais económico. A sua facilidade de uso faz com que normalmente não seja necessário nenhum equipamento específico, o que também torna este material mais económico;
- Vantagem ecológica: um recurso que não provoca poluição, uma vez que é trabalhado em cru, ao contrario do que acontece com outras matérias, nomeadamente o betão. E é um material reutilizável as vezes que forem necessárias;

- Vantagem política: por ser um material global, um material existente em todo o mundo, de acordo com as diferentes potencialidades de cada país, assume uma dimensão política;
- Vantagem social: a técnica da construção em terra permite reduzir o custo da habitação social e promovem a sociabilização do povo, por serem técnicas que permitem a autoconstrução;
- Vantagem cultural: por ter sido usado nas civilizações antigas, atualmente pode assegurar uma linguagem criativa e adaptada às histórias de cada cultura.

2.5 Limitações das construções em terra

As construções em terra também possuem algumas limitações, nomeadamente:

- As construções em terra são vulneráveis à água. Os elementos construídos com terra têm durabilidade reduzida quando estão em contacto com a água porque esta tende a desagregá-los (Carvalho, 2008).
- Quando sujeitas a esforços de compressão e tração diminui as suas propriedades mecânicas, principalmente nos elementos construtivos como paredes, muros, lajes ou arcos.
- A falta de regulamentação relativamente às técnicas construtivas que utilizam a terra como material de construção, assim como a falta de conhecimento sobre elas pode ser tida como uma outra limitação.

2.6 Diferentes formas da construção em terra

São inúmeras as formas de construção em terra, contudo, existem dois materiais que são fundamentais a todas as formas: a água e a terra. Adicionalmente podem-se utilizar outros materiais, dependendo da técnica em causa, como forma de melhoramento das características ou facilitar o processo de produção. A terra usada, é normalmente retirada do local de construção ou de terrenos vizinhos, o que faz com que cada técnica tenha as suas características, dependendo da cultura da região onde é construído.

Houben e Guillaud (1989) identificaram 18 técnicas de construção, estes métodos podem dividir-se em três grupos, apresentados a seguir:

Tabela 2. 1: Tabelas com as técnicas de construção em terra segundo Houben e Guillaud (1989)

A	B	C
UTILIZAÇÃO DA TERRA SOB A FORMA MONOLÍTICA E PORTANTE	UTILIZAÇÃO DA TERRA SOB A FORMA DE ALVENARIA PORTANTE	UTILIZAÇÃO DA TERRA COMO ENCHIMENTO DUMA ESTRUTURA DE SUPORTE
1 - TERRA ESCAVADA	6 - BLOCOS APILOADOS	14 - TERRA DE RECOBRIMENTO
2 - TERRA PLÁSTICA	7 - BLOCOS PRENSADOS	15 - TERRA SOBRE ENGRADADO
3 - TERRA EMPILHADA	8 - BLOCOS CORTADOS	16 - TERRA PALHA
4 - TERRA MODELADA	9 - TORRÕES DE TERRA	17 - TERRA DE ENCHIMENTO
5 - TERRA PRENSADA: TAIPA	10 - TERRA EXTRUDIDA	18 - TERRA DE COBERTURA
	11 - ADOBE MECÂNICO	
	12 - ADOBE MANUAL	
	13 - ADOBE MOLDADO	

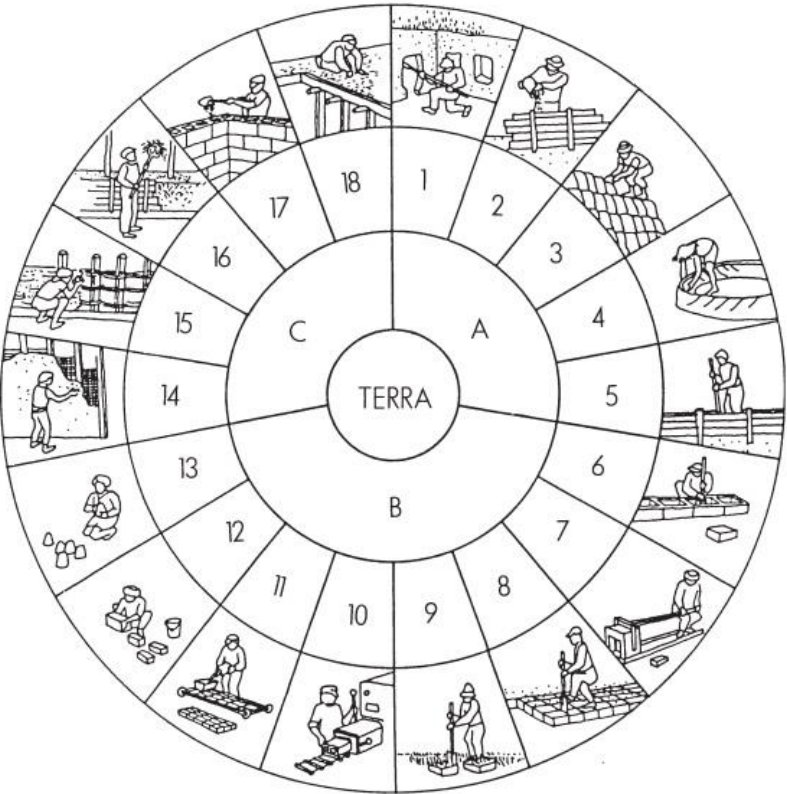


Figura 2. 4: Técnicas de construção em terra (Houben e Guillaud, 1989)

As principais técnicas construtivas tradicionais são o adobe, a taipa, o tabique e mais recentemente o bloco de terra compactado (BTC).

2.6.1 Adobe

Pode definir-se o adobe como a utilização de blocos de terra crua moldados e posteriormente secos naturalmente. Esta técnica foi muito utilizada por se ter tornado uma técnica alternativa aos tijolos cerâmicos cozidos, que permite um fabrico de baixo custo, um melhor comportamento térmico e acústico e os blocos de adobe podem obter diferentes dimensões. A composição dos adobes são a terra crua, água e palha e algumas vezes outras fibras naturais, moldados em fôrmas por processo artesanal ou semi-industrial. O uso da palha e de outras fibras diminui a retração ou fendilhação devido à secagem ao sol.



Figura 2. 5: Adobes: (a) Blocos de adobe; (b) Construção em adobe.

Depois de secos os adobes estão prontos a serem utilizados. Podem servir para a construção de paredes arcos e abobadas, sendo a forma de construir em adobe simples, semelhante à colocação do tijolo convencional. O assentamento dos adobes é realizado com argamassa à base de terra a fim de se obter um melhor comportamento de conexão entre os materiais. A nivele estético os tijolos de adobes podem ficar a vista sem tratamento superficial ou podem ser cobertos com argamassa de terra (Torgal et al., 2009).

Vantagens do uso do adobe:

- Baixo custo;
- Conforto térmico;
- Uso de material regional;
- Preparação no próprio local da construção;
- Rapidez na preparação;
- Sustentável.

2.6.2 Taipa

A taipa é das técnicas mais utilizadas em Portugal (Figura 2.3 (a)). Esta técnica consiste em compactar terra húmida em taipais de madeira, desmontáveis, que são removidos logo após estar completamente seca, formando assim uma parede regular (Figura 2.6(a)). A terra é compactada em camadas de cerca de 15 cm até atingir a altura do taipal. A compactação pode ser feita de forma manual (Figura 2.6(b)) ou mecanicamente, mais utilizada atualmente uma vez que torna o processo mais fácil e rápido.

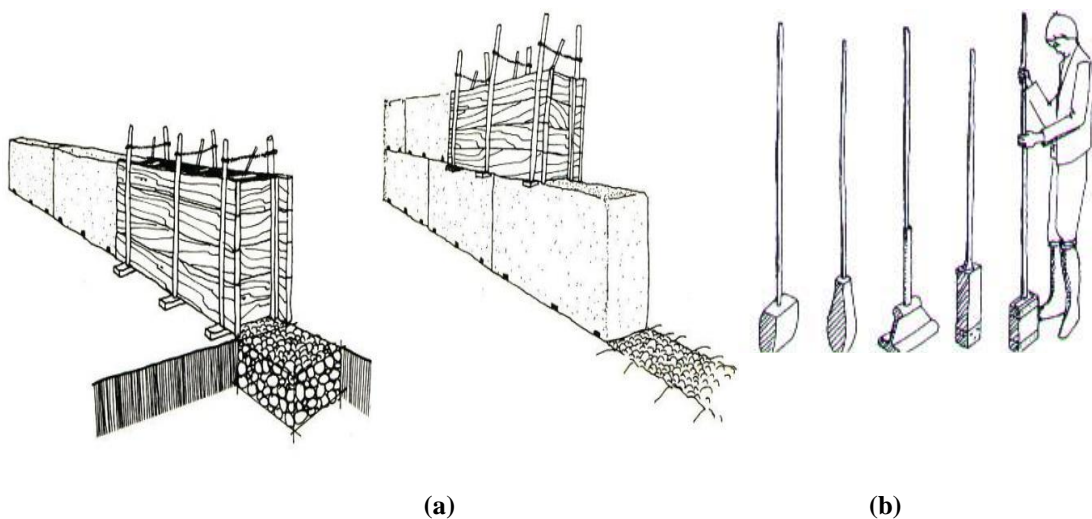


Figura 2. 6: Taipa: (a) Taipais da construção em taipa; (b) Pilões de compactação.

O facto de estes blocos serem construídos in situ confere uma aparência à parede monolítica superior ao conseguido por outras técnicas de construção em terra, como é o caso da construção em adobe. Contudo, é uma técnica apropriada para climas quentes e secos, com pouca precipitação, uma vez que o material é pouco resistente à água.

Existem diversas vantagens da construção em taipa quando comparada com a construção com materiais ditos modernos (Houben e Guillaud, 2008), tais como:

- Capacidade de renovação do ambiente interior através da absorção ou libertação rápida da humidade, tornando o ambiente mais saudável;
- Boa inércia térmica das paredes em taipa, o que lhes permite armazenar eficazmente calor. A elevada massa destas paredes também lhes confere bom isolamento acústico;
- Boa resistência ao fogo, material incombustível;
- Elevada sustentabilidade, uma vez que pode ser usada terra local, sem ser necessário despender energia com o seu transporte ou processamento. Para além disto, a terra da taipa é reutilizável ou pode ser devolvida à natureza sem necessidade de tratamento;
- Processo construtivo simples que não requer mão-de-obra especializada.

Porém existem também diversas desvantagens da construção em taipa, como por exemplo:

- Propriedades mecânicas baixas e comportamento frágil, o que faz com que estas construções tenham um mau comportamento a ações sísmico, geralmente limita a altura dos edifícios a um ou dois pisos;
- Retração devido à perda de água por secagem, o que faz com que ganhe fendas e consequente diminuição a resistência do material;
- Muito pouca resistência á água, muitas vezes são utilizados ligantes (cal, cimento ou betume) ou outras formas de proteção (reboco de desgaste, prolongamento do beiral, etc.) como forma de estabilização da construção;
- Necessidade de manutenção muito frequente, sem a qual a construção degrada-se rapidamente.

Esta foi uma técnica muito utilizada antigamente, contudo, está de novo afirmar-se aliado as novas tecnologias e arquitetura moderna.



(a)

(b)

Figura 2. 7: Taipa: (a) Construção antiga; (b) Construção moderna.

2.6.3 Tabique

O tabique pode ser considerado uma estrutura de suporte, normalmente em madeira ou cana, que é preenchida com terra (Figura 2.8 (a)).

Esta é uma técnica construtiva considerada mista, já que a capacidade resistente é essencialmente dada pelo suporte de madeira e a terra é um material de preenchimento ou revestimento, portanto secundário, ao contrário das outras técnicas construtivas, como o adobe e a taipa, em que a terra é o elemento considerado principal.

A terra usada para enchimento ou revestimento normalmente pode ser terra crua ou ter adicionado palha ou casulos de espigas de milho. As construções em tabique normalmente possuem um piso térreo de alvenaria de pedra e só os restantes possuem o tabique (Figura 2.8 (b)), uma vez que esta técnica possibilita ter paredes finas e de pouco peso ao contrário de outros métodos. Apesar de por vezes não existir no exterior das construções, está presente no interior em paredes divisórias.



Figura 2. 8: Tabique: (a) Pormenor de construção em Tabique; (b) Construção em tabique.

Apesar desta técnica ser das mais antigas, ainda é atualmente muito utilizada pela nova arquitetura .em todo o mundo (Figura 2.9).



Figura 2. 9: (a) Antiga construção em de tabique; (b) Nova construção em tabique.

2.6.4 BTC

O Blocos de Terra compactada ou Blocos de Terra Comprimida – também designado por tijolo ecológico – é um dos métodos de construção em terra crua mais utilizados

atualmente. Trata-se de um material relativamente recente, as primeiras experiências de aplicação BTC foram efetuadas na Europa no início do século XIX. Utilizava-se um molde de madeira onde se colocava terra húmida e se comprimia com os pés, na Colômbia decorria a década de 50 do século XX, quando apareceu a primeira máquina utilizada para o efeito e foi designada por prensa Cinva-ram (Figura 2.10).



Figura 2. 10: Exemplo de uma prensa Cinva-ram

É uma técnica que surge de uma evolução do adobe, através da estabilização do solo por meios mecânicos, sendo constituído pela compactação de solo confinado num molde. Permite obter pequenos bolos de terra prensada, mais resistentes e duráveis em relação ao adobe, e a sua produção pode ter uma qualidade controlada uma vez que o processo é mais industrializado (Silva, 2013).

Esta compactação é realizada através de uma prensa acionada de forma manual, pela força humana, permitindo realizar diversos tipos de blocos, maciços ou perfurados, e pequenas placas de revestimento, como se pode ver na Figura 2.11. A compactação traduz-se na prática pelo aumento da resistência mecânica dos blocos de terra crua, pelo

aumento do contacto entre as partículas e pela diminuição da porosidade, através da eliminação de vazios.

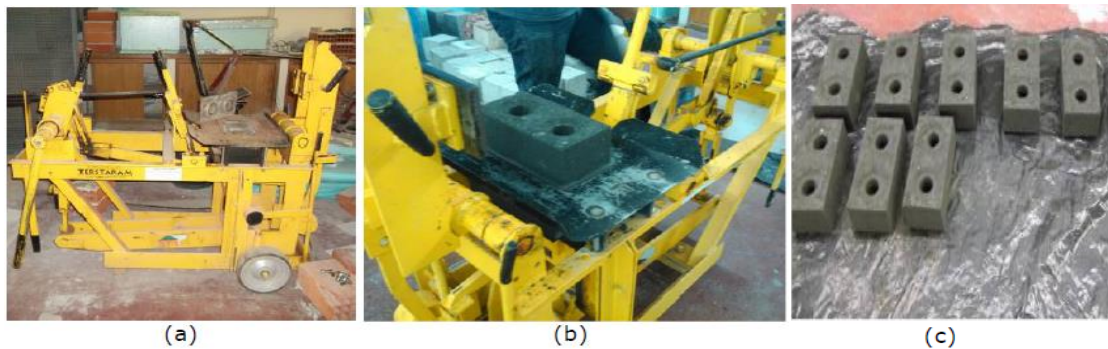


Figura 2. 11: Produção BTCs: (a) de imprensa Terstaram, (b) BTC na prensa; (c) BTC depois de sair do molde

Os blocos de terra podem ser compactados através de prensas hidráulicas (Figura 2.12), ou seja, não requerem força manual, tornando-se num processo de fabrico mais rápido, sobretudo em máquina que compactam diversos blocos ao mesmo tempo. Estes blocos apresentam uma resistência mecânica substancialmente maiores em relação aos prensados manualmente. Tendo ainda uma maior resistência ao contacto com a água, uma vez que o ajuste entre as partículas é maior, existindo assim uma menor quantidade de vazios. Estas prensas podem ser fixas ou móveis. A mobilidade destas últimas permite a execução dos blocos no local da obra tal como nas prensas manuais, com a vantagem de uma maior rapidez de fabrico. Assim, é possível manter uma maior sustentabilidade deste tipo de construção evitando o transporte desnecessário e economicamente desvantajoso de blocos.

Quando as características do solo não são adequadas, é necessário usar estabilizantes de modo a obter a propriedades pretendidas. Os estabilizantes mais comuns são o cimento e cal, contudo têm surgido novos estabilizantes mais sustentáveis e ecológicos.



Figura 2. 12: Prensa hidráulica

A forma de construir é semelhante ao tijolo comum, mas quando o BTC é encaixável permite assentar os blocos com menor uso de argamassa, dispensando mesmo o uso de argamassa nas juntas verticais. Em termos de estrutura esta pode ser uma estrutura convencional, em betão ou madeira, ou ser incorporada no próprio bloco perfurado. Na Figura 2.13, é mostrado a forma como vão ser construídas as paredes.

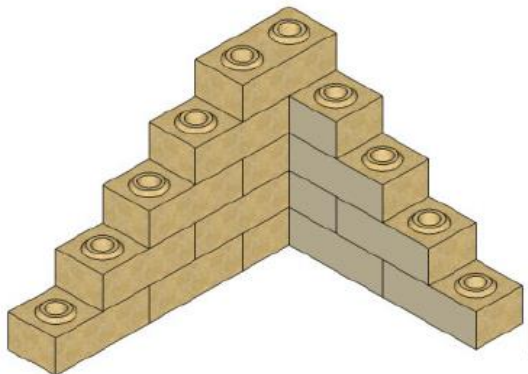


Figura 2. 13: Construção da parede

Para além das vantagens da construção em terra já enumeradas anteriormente, que também são comuns aos BTC, destacam-se agora outras características que tornam esta técnica uma das formas de construir em terra com maior potencialidade (Adam & Agib, 2001):

- Matéria prima existente no local e mão-de-obra pouco qualificada - Baixo custo.
- As prensas são de fácil manuseamento e permitem a adaptação à necessidade de produção;
- Permite o controlo na produção, aumentando a qualidade e regularidade;
- Fácil adaptação a hábitos culturais.

Contudo, os BTC possuem também algumas limitações:

- O solo pode não ser o adequado;
- Impossibilita a construção de grandes vão e altos edifícios;
- Quando comparado com outros materiais atualmente mais utilizados tem um desempenho mecânico baixo;
- Falta de regulamentação adequada.

2.7 Adequabilidade dos solos

Como já foi referido anteriormente, a matéria-prima utilizada é a terra. A terra é constituída por partículas de diversos tamanhos como argilas, siltes e areias que se encontram em proporções variáveis (Torgal et al, 2010). Assim, o comportamento de um determinado solo é função da quantidade de argila, silte e areia existente e também da quantidade de água que o solo possui. Por isto é essencial fazer ensaio de caracterização para que se possa conhecer as propriedades do solo.

2.7.1 Ensaio para a caracterização do solo

Para ser possível verificar se um determinado solo é ou não adequado para ser utilizado na construção, é necessário passar por uma série de ensaios, os quais permitem quantificar as suas propriedades, como a sua granulometria, o seu comportamento

mecânico e o seu comportamento à deformação para um determinado nível de humidade. Estes ensaios podem ser divididos em dois tipos de ensaios, sendo: ensaios expeditos, a realizar a nível de campo e com um nível de fiabilidade baixo, e ensaios laboratoriais realizados segundo procedimentos normalizados.

2.7.1.1 Ensaios expeditos

Estes ensaios permitem tirar algumas informações iniciais sobre o tipo de solo existente no local de construção. São considerados ensaios de fácil execução, sem necessidade de utilização de equipamentos sofisticados e podem ser feitos no local da obra.

O grupo francês CRAterre é um centro de investigação e documentação, de referência mundial na área da arquitetura em terra, e destaca os seguintes ensaios:

- **Teste da cor**

A cor que cada solo possui, dá a informação de quais os seus constituintes. Solos que possuem matéria orgânica são normalmente mais escuros enquanto que os solos mais claros significam a presença de areias quartzosas ou feldspáticas. Já os solos com cor vermelha, podem dever essa cor à presença de óxidos de ferro.

- **Teste do cheiro**

Solos orgânicos normalmente possuem um forte cheiro a húmus, o qual é potenciado pelo aquecimento ou humedecimento desse solo.

- **Teste do tato**

Ao esfregar-se uma amostra de solos entre as mãos, é possível perceber a presença de um solo arenoso pelo facto de ser áspero ou indicando a quantidade de argila conforme seja solos plásticos ou viscosos quando húmidos.

- **Teste do brilho**

Uma bola de solo humedecido e cortada por uma faca, apresentará superfície opaca se houver predominância de silte ou uma superfície brilhante se houver predominância de argila.

- **Teste de aderência**

Na mesma bola de terra do teste do brilho, ensaia-se a penetração de uma espátula. Se a penetração é difícil e a terra adere à espátula, trata-se de um solo argiloso, caso contrário, o solo é eminentemente saibroso.

- **Teste de sedimentação**

Enche-se até $\frac{1}{4}$ da capacidade de um frasco com solo e completa-se com água, agita-se, deixa-se repousar uma hora, e repete-se o procedimento 2 vezes. Depois de repousar mede-se a espessura das camadas, de areia, de silte e de argila.

- **Teste visual por peneiração expedita**

Utilizando dois peneiros da série ASTM, nº200 (0,074mm) e nº10 (2mm), passa-se o solo no peneiro nº200 e a parte retida neste é passada no peneiro nº10. O solo será argiloso se o montículo que passou (areia e silte) no peneiro nº200, for maior que o montículo do solo retido. Se pelo contrário está-se em presença de um solo arenoso ou pedregoso.

- **Teste de retenção de água**

Com o material retido no peneiro de 1mm e água, faz-se uma bola. Pressiona-se a bola na palma da mão e em seguida golpeia-se fortemente com a outra mão, se forem necessários 5 a 10 golpes para a água aparecer à superfície e se a bola ficar esmigalhada, trata-se de um solo composto por areia fina ou silte grosso, se por outro lado for preciso 20 a 30 golpes e a bola não ficar esmigalhada, trata-se de um silte ligeiramente plástico ou de uma argila siltosa. Já se não houver nenhuma reação, trata-se de um solo com elevada quantidade de argila.

- **Teste de resistência à secagem**

O solo retido num peneiro com malha de 1mm, é ligeiramente espalmadas em porções de forma a ficarem com 1cm de espessura e 5cm de diâmetro. Depois de deixar as amostras secar, analisa-se a dureza do solo, através do seu aperto entre o polegar e o indicador podemos classificar o solo como argila se não se desfizer, como argila arenosa ou siltosa se a amostra se desfizer após alguma esforço e uma areia se o solo se desfizer facilmente.

2.7.1.2 Ensaios laboratoriais

Estes são ensaios mais rigorosos e portanto mais confiáveis que os expeditos, apresentando uma maior necessidade de equipamentos para que possam ser realizados.

- **Análise granulométrica**

O ensaio consiste em determinar a percentagem de partículas por tamanho presentes numa amostra de solo (LNECE239-1970). Estas percentagens são obtidas por peneiração através de uma série de peneiros normalizados. A peneiração é efetuada por via húmida para se obter a desagregação das partículas mais finas (LNEC E239-1970). O solo retido em cada peneiro é posteriormente seco em estufa, para apurar a percentagem em relação à massa do provete. Para a identificação dos diferentes constituintes do solo abaixo de 0,074 mm (siltes e argilas), utiliza-se não a peneiração mas o ensaio de sedimentação (LNEC E 196-1966).

- **Limite de consistência**

O limite de consistência permite avaliar a natureza de um solo, inferior a 0,4mm, definindo os teores em água que limitam os possíveis estados, sólido, líquido ou plástico. Também conhecido como limites de Atterberg, os limites de consistência determinados pela NP 143-1969, compreendem o limite de liquidez (LL), o limite de plasticidade (LP), o índice de plasticidade (Ip) e ainda o limite de retração (LR).

O limite de liquidez caracteriza o teor em água referente à transição do estado plástico para o estado líquido, determina-se preparando-se uma pasta consistente de material que é colocada numa concha de Casagrande onde é aberto uma fenda. O teor de água necessário corresponde ao qual, depois de um número de pancadas, os bordos se voltem a unir.

O limite de plasticidade corresponde ao teor em água referente à transição do estado plástico para o estado sólido. O ensaio consiste em fazer rolar um rolo de solo húmido entre a mão e uma placa de vidro. O limite de plasticidade consiste no teor em água obtido quando o rolo de solo rompe para um diâmetro de cerca de 3mm (Faria, 2012).

O índice de plasticidade obtém-se fazendo a diferença numérica entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. O parâmetro Retração relativa é obtido de acordo com a seguinte equação: $RR=(LL-LP) (\gamma_{seca}/\gamma_w)$.

Em que RR é a retração relativa, LL é o limite de liquidez, LP é o limite de plasticidade, γ_{seca} é a massa volúmica seca, e γ_w é a massa volúmica da água.

- **Ensaio de Proctor**

Este ensaio é utilizado para determinar o teor de água ótimo o qual corresponde à máxima compacidade do solo (E LNEC 197-1971). O ensaio corresponde à compactação de várias amostras do solo, com diferentes teores de água. A energia de compactação é controlada tanto na compactação manual ou mecânica, registando-se os valores da massa e do volume das várias amostras depois da compactação e fazendo-se um gráfico onde se marca a massa volúmica seca versus teor de água e retira-se o teor de água ótimo que consiste na baridade seca máxima (Torgal e Jalali, 2010). Existe uma relação entre a energia de compactação, a baridade, a permeabilidade e a porosidade, sendo que, quanto maior a energia de compactação utilizada, mais elevada será a baridade seca máxima e menor será a permeabilidade e porosidade do solo.

2.8 Técnicas de estabilização

As técnicas de estabilização de um determinado solo implicam uma alteração nas suas propriedades, conferindo-lhe determinadas características que não apresentariam no seu estado natural, conseguindo-se dessa forma uma melhoria significativa do seu desempenho, tais como: maior resistência a água, abactérias e fungos e maior resistência mecânica. Estas alterações podem ser químicas, físicas e/ou biológicas.

Devido à grande variabilidade de solos, é preciso conhecer muito bem as propriedades do mesmo, as melhorias que se pretende alcançar, os custos associados à estabilização e às técnicas construtivas envolvidas no projeto (Houben&Guillaud, 2008).

Numa breve explicação, a estabilização física entende-se como um melhoramento das características através de um arranjo das partículas. Na estabilização química recorre-se a adição de produtos químicos, sendo que os produtos mais utilizados são o cimento e a

cal. Contudo, o passar dos anos e a crescente preocupação com o ambiente levaram ao desenvolvimento de novas técnicas como a ativação alcalina de cinzas volantes (Soares, 2013).

2.8.1 Principais métodos de estabilização

Os principais métodos de estabilização, e consequentemente os mais utilizados são a estabilização através do cimento e a estabilização através da cal.

O uso do cimento é das técnicas mais comuns para a estabilização do solo na engenharia civil. Esta técnica melhora a resistência, assim como a estabilidade em relação à variação do teor de água, nomeadamente, em solos granulares, siltosos e argilas pouco plásticas. (Torgal et al., 2009).

Esta preparação consiste numa mistura de solo, água e cimento, em quantidades determinadas, seguindo-se da aplicação e compactação. Fica a hidratar normalmente durante 7 dias em condições de humidade adequada, ficando progressivamente endurecido.

Apesar de ser o estabilizante atualmente mais utilizados e presente no fabrico de BTC, este trás diversos problemas para a sociedade, destacando-se aqui, a poluição, uma vez que, não se apresenta como um material ecológico nem sustentável e está associado a um significativo consumo energético para a sua produção.

O uso do cal é um dos métodos mais antigos usado na construção civil, os primeiros vestígios do uso deste material remete-nos para o Egito 3000 anos aC.

O uso deste material é mais indicado para os solos argilosos, uma vez que são solos finos e com elevado índice e plasticidade, melhorando reação do solo quando este sofre movimentos de assentamento ou deslizamento. Esta reação é provocada devido à cimentação que o solo sofre, devido à cal, que ao agregar as partículas finas torna o solo mais forte e mais granular (Torgal & Jalali, 2010).

De salientar que a cal é um estabilizante mais barato e mais sustentável, daí ser expectável que venha a ter uma maior utilização no futuro quando comparada como cimento. Contudo tem o inconveniente de não poder ser usado em todos os tipos de solo (Cristelo e Jalali, 2007).

Estes dois métodos têm diferenças entre eles. No caso do cimento é conseguida uma resistência muito mais rápida que no uso da cal, isto deve-se ao facto de as reações de hidratação serem mais rápidas que as pozolânicas (Silva, 2013).

2.8.2 Métodos Inovadores de estabilização

Devido aos problemas já referidos nos pontos anteriores, com o passar do anos têm sido realizados estudos de forma a introduzir novos materiais estabilizantes no mercado da construção civil, mais sustentáveis e mais ecológicos.

A Universidade do Minho em conjunto com a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro levaram a cabo uma investigação sobre a ativação alcalina de cinzas volantes para estabilizar o solo residual granítico do Minho. A ativação alcalina de cinzas volantes tem demasiado interesse a nível ambiental, uma vez que os materiais utilizados têm um baixo valor de emissões de CO₂ e a vantagem da utilização de um material resultante da queima do carvão (Soares, 2013). No capítulo seguinte será abordado mais detalhadamente o conceito de ativação alcalina de cinzas volantes.

2.9 Comportamento acústico

De uma forma geral, pode-se entender comportamento acústico como o comportamento que um material tem ao receber a incidência de uma onda sonora. Um material que tenha um bom comportamento acústico é um material que é bom isolante acústico, caso contrário, um material que tenha um mau comportamento acústico é um mau isolante acústico.

Pode-se definir acústica como sendo o ramo da física que estuda o som. O som é um fenómeno ondulatório causado pelos mais diversos objetivos e se propaga através dos diferentes estados físicos da matéria.

Em acústica geralmente podemos dividir entre geradores de som, meios de transmissão, propagação e recetores. A acústica mensura estes meios, cria instrumentos, tabelas, entre outros, de forma a fornecer dados necessários aos mais diversos ramos da ciência para a utilização dos sons, de seus meios de propagação e efeitos. Relativamente às

propriedades das ondas sonoras e o seu comportamento em diferentes meios, é fundamental reter a reflexão, a transmissão e a difração.

Quando uma onda sonora se propaga através de um espaço e encontra uma superfície que divide um outro espaço, promove-se o aparecimento de uma onda refletida e uma transmitida. Normalmente uma onda sonora é refletida sempre que existe uma descontinuidade ou uma mudança no meio, através do qual a onda se propaga. Um som que se reflete um décimo de segundos após o som direto não é perceptível pelo ouvido, pelo que os dois sons são confundidos causando o efeito que é conhecido como reverberação. Quando uma onda ultrapassa um obstáculo, também designada por onda transmitida, sofre uma mudança de direção, em relação às ondas incidentes, fenómeno conhecido como refração do som (López, 1999).

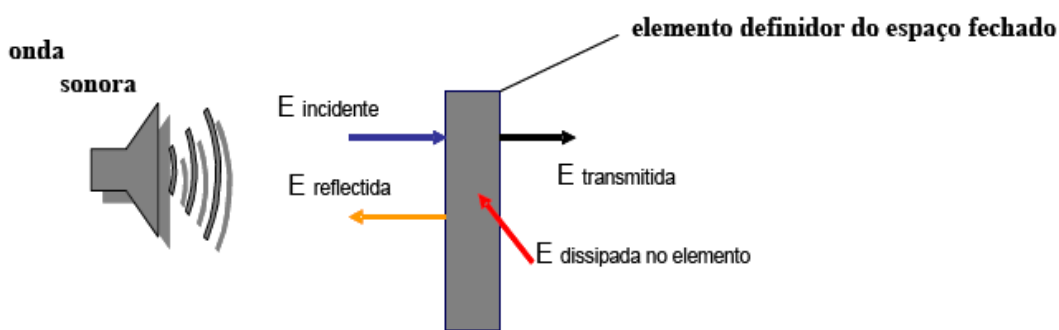


Figura 2. 14: Ondas refletidas e refratadas (Gonçalves,2007)

2.10 Breve história da evolução da acústica de edifícios

A evolução da acústica revela um contributo longo de comunicação e colaboração interdisciplinar, sendo reconhecida como uma ciência transversal a vários domínios do conhecimento. A sua integração, ao nível da engenharia, encontra-se perfeitamente estabelecida dados os conhecimentos e meios técnicos disponíveis na atualidade. (Gonçalves, 2007).

Os estudos sobre acústica iniciaram-se nos séculos VI a. C., com maior relevo por *Pitágoras e Cripus*, estes primeiros estudos estavam relacionados com a origem e propagação do som. Sobre a acústica arquitetónica o primeiro registo que se conhece deve-se ao engenheiro e arquiteto romano, *Marcus Vitruvius Pollio*, que escreveu sobre a acústica dos teatros gregos (Figueiredo, 2005).

O maior nome ligado à acústica dos edifícios, é o físico *Wallace C. Sabine*, nascido no início do século XX. No decorrer do seu primeiro estudo sobre os problemas acústicos, ao nível dos sons refletidos de um auditório, *Sabine* verificou que o tempo de reverberação dependia da quantidade de energia sonora que era perdida, devido aos materiais absorventes. *Sabine* chegou assim à fórmula matemática para calcular o tempo de reverberação, chamando-lhe “fórmula de Sabine”.

Esta fórmula sofreu algumas alterações feitas por *Eyring e Norris*, de modo a aperfeiçoarem e adaptarem a fórmula. Contudo em 1965 todos os métodos experimentais utilizados para obtenção dos tempos de reverberação, foram ultrapassados pelo método do impulso integrado publicado por *Manfred Schroeder*.

Estudos sobre a difusão, feitos por *Meyer*, começaram a ganhar força, assim como os fenómenos referentes aos primeiros instantes do decaimento da energia, chegando a relacionar fórmulas matemáticas com parâmetros subjetivos, a que chamou de “clareza” ou “definição”. Contudo, apesar destes avanços continuaram a verificar-se problemas sérios com os comportamentos acústicos.

Na década de 70 já houve uma grande evolução nas técnicas de medição, tanto da resposta impulsiva, como do tempo de reverberação e dos outros parâmetros. Com o avanço da capacidade e velocidade dos computadores foi então possível implementar novas técnicas que revolucionaram a produção científica, factos que ainda hoje permitem fazer novas descobertas e estudos de novas técnicas para o estudo da acústica (Figueiredo, 2005).

Em Portugal a acústica esteve muitos anos no esquecimento, ou simples desprezo. Contudo, tem ganho cada vez mais importância na construção. Antigamente, a construção de edifícios com uma acústica inadequada era frequente, hoje em dia, tem vindo a conhecer um aumento gradual, podendo ser vistas obras de avultados investimentos, como por exemplo a Casa da Musica, no Porto, com comportamento acústico excelente, (Carvalho, 2004).

2.11 Importância do comportamento acústico dos materiais

Na área da construção é muito importante conhecer os conceitos e técnicas da acústica. É nos edifícios que passamos a maior parte dos nossos dias, seja em atividades de lazer ou trabalho, portanto, é muito importante que os edifícios garantam uma qualidade acústica adequada à utilização em causa de acordo com o espaço onde se inserem.

O controlo do ruído é uma preocupação cada vez maior na sociedade atual, uma vez que este provoca um efeito incómodo e nocivo sobre o ser humano. Alguns dos efeitos provocados são a perda de audição devido à exposição contínua a níveis sonoros altos, o aumento da pressão arterial, a aceleração da pulsação, a dilatação das pupilas, o aumento da produção de adrenalina, a reação muscular e a contração dos vasos sanguíneos. Portanto, o ruído não só dificulta a comunicação verbal entre as pessoas, como também, influencia diretamente o seu comportamento fisiológico e emocional em qualquer situação e ambiente.

Por tudo isto, quando se aborda a temática do conforto acústico há dois aspetos diferentes que devem ser tidos em consideração: o isolamento sonoro do espaço e as características do campo sonoro que nele se estabelecem. No caso das características do campo sonoro destacam-se o tipo de arquitetura, o mobiliário e pessoas que nele estão inseridos, bem como os materiais que revestem as suas superfícies.

2.12 Regulamentação acústica em Portugal

Em Portugal não existe um regulamento específico para a acústica em construções em terra. Os regulamentos e normas existentes, são genéricos no que concerne aos materiais das soluções construtivas dos edifícios. Os regulamentos e as normas mais relevantes no âmbito do presente trabalho são os seguintes: Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), a norma Portuguesa NP EN ISO140 2011 e a norma NP EN 20140-3 1998 regulam a vertente do conforto acústico no âmbito do regime de edificação, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem estar e saúde das populações, em articulação com o regime jurídico relativo ao ruído ambiente.

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) foi aprovado pelo Decreto-lei nº 129/2002 de 11 de maio, que regula a vertente do conforto acústico em edifícios. O diploma sofreu algumas alterações recentemente, definidas no Decreto-lei nº 96/2008 de 9 de junho, que estabelece requisitos acústicos de acordo como tipo de edifício ou espaço:

- Edifícios habitacionais e misto, e unidade hoteleiras;
- Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;
- Edifícios escolares e similares, e de investigação;
- Edifícios hospitalares e similares;
- Recintos desportivos;
- Estações de transporte de passageiros;
- Auditórios e salas.

Estes requisitos, abrangem valores limite para determinadas zonas, relativamente aos índices de isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão, bem como, ao tempo de reverberação (T_{60}).

A norma NP EN ISO 140-1 2011 é a versão portuguesa da Norma Europeia EN ISO 140-1:1997. A norma NP EN 20140-3 1998 é a versão portuguesa da Norma Europeia EN 2010-3:1995. Estas estabelecem especificações referentes a instalações e medições laboratoriais para a medição do isolamento acústico de elementos construtivo. Os parâmetros a medir são o Tempo de reverberação, os níveis sonoros do com partimento emissor e recetor e o ruído de fundo.

Capítulo 3

Caracterização e Processo de Fabrico

3.1 Introdução

Neste capítulo 3 vai ser apresentada a descrição dos materiais utilizados no fabrico dos blocos de terra, nomeadamente, o solo residual granítico, as cinzas volantes e o ativador alcalino.

Será ainda analisado o processo de fabrico que foi utilizado para a produção dos BTC e geometria dos blocos.

3.2 Descrição dos Materiais Utilizados

A terra é a base na construção dos BTC, sendo-lhe adicionada uma quantidade de água adequada e um estabilizante, caso seja necessário. O estabilizante pode ser de natureza química, física ou biológica.

No caso em estudo foi utilizado solo residual da região do Minho e, as cinzas volantes ativadas alcalinamente, foram o estabilizante utilizado para melhorar as propriedades deste solo.

3.2.1 Solo residual Granítico

O solo utilizado neste estudo, como já referido, foi o solo residual granítico do Minho (Figura 3.1), da região Norte, recolhido em Guimarães, mais propriamente, na localidade de Penselo.



Figura 3. 1: Solo residual granítico do Minho

Estes solos resultam da decomposição de rochas graníticas mantidos no local original, daí se chamarem solos residuais (Craig, 1992, *cit in* Cristelo, 2009). Na tentativa de encontrarem um equilíbrio estável à superfície, as rochas vão sofrendo decomposição ou meteorização devido aos agentes que podem ser físicos ou químicos, normalmente tratados como agentes de meteorização. Para além da meteorização, existe também o fenómeno da erosão, que leva também a decomposição da rocha.

Uma vez que o solo residual granítico é constituído por diferentes minerais, é de extrema importância conhecer a sua composição para que possa se possa ter uma compreensão mais fácil do seu comportamento.

Com os ensaios anteriores levados a cabo, no laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho (Faria, 2012) foi possível identificar as propriedades deste solo em termos de granulometria, dos limites de consistência, da baridade seca máxima e do teor ótimo em água. Estes valores são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3. 1: Resultados obtidos na análise do solo residual granítico

Ensaio	Propriedades	Parâmetros	Resultados obtidos
Análise granulométrica	Textura	Gravilha (%)	22
		Areia (%)	60
		Silte (%)	14
		Argila (%)	4
Limites de consistência	Plasticidade	Limite de liquidez (%)	28
		Limite de plasticidade (%)	-
		Limite de retração (%)	26
		Índice de plasticidade	-
		Índice de retração	2
Densidade das partículas	Textura	Peso específico dos grãos (g/cm^3)	2,62
Ensaio de Proctor	Compactação	Teor em água ótimo (%)	12,1
		Baridade seca máxima (g/cm^3)	1,71

Da análise da Tabela 3.1 pode-se concluir que o SRG é um solo rico em areias, já que a análise à granulometria mostra uma percentagem de 66% para a areia. De referir também que em comparação com a curva recomendada por *Houben e Guillaud* (2008), apresentada na Figura 12, a percentagem de argila é muito pequena, com cerca de 4%.

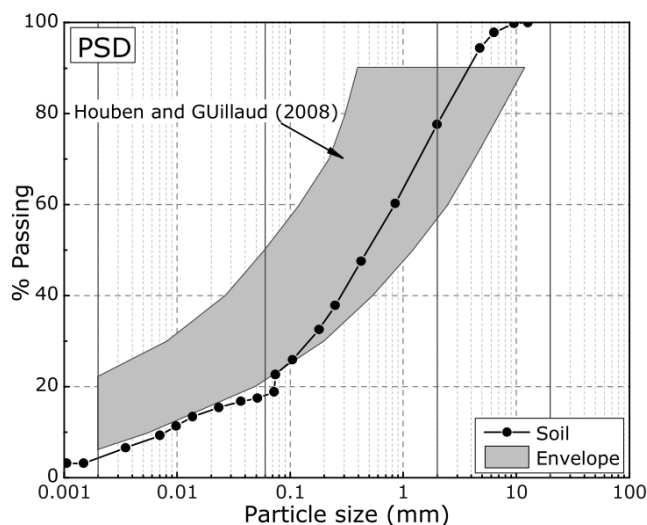


Figura 3. 2: Fuso recomendado por Houben e Guillaud

Quanto aos limites de consistência, pode-se concluir que não é um solo plástico, uma vez que, a quantidade de argila é muito reduzida, não sendo por isso possível calcular o índice de plasticidade deste solo.

Os limites de liquidez e de retração também não estão em conformidade com os recomendados por Doat, Hays e Houben (1991). Segundo estes autores, os valores deveriam estar compreendidos entre 30% - 35% e 8% - 18% respetivamente.

Da análise efetuada pode-se classificar o solo como sendo uma areia siltosa (SM). Verificou-se também que não é um solo adequado para o fabrico dos BTC, caso não se recorra a um estabilizante de modo a obter as propriedades pretendidas para obtenção de um BTC resistente e de durabilidade adequada.

3.2.2 Cinzas volantes

A ativação alcalina de materiais à base de alumino-silicatos, como por exemplo as cinzas volantes, já é considerada uma importante alternativa para o cimento Portland (OPC), já que a maioria das conhecidas limitações de OPC são superadas por esta nova tecnologia (Hardjito et Rangan, 2005). Uma vantagem importante de materiais alcalino-ativados em relação ao cimento é a de carácter ambiental, uma vez que, existe a

ausência de um passo de calcinação a alta temperatura na ativação de cinzas e / ou resultados de escórias, o que se traduz numa drástica redução das emissões de CO_2 em comparação com a produção de OPC. Além disso, o Departamento de Energia dos EUA (2001) realizou um estudo completo concluindo que as cinzas, se usadas corretamente, não representam um perigo para o ambiente quando utilizadas para estabilização do solo.

As cinzas volantes obtêm a sua designação devido a serem obtidas por precipitação eletrostática, ou pela captação mecânica em filtros de saco ou dispositivos semelhantes, das poeiras contidas no fumo produzido pela queima de carvão nas centrais termoelétricas. A designação de volantes resulta da leveza das partículas, as quais, na ausência de elementos de filtragem seriam libertadas para a atmosfera, arrastadas pelos gases que se formam na combustão.



Figura 3. 3: Cinzas volantes

Dada a sua origem nas impurezas minerais contidas no carvão, as cinzas são maioritariamente constituídas por dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3), sendo por isso uma interessante fonte de alumínio e silício para

geopolímeros. Exibem também atividade pozzolânica, reagindo à temperatura normal e em presença de água com o hidróxido de cálcio e com álcalis para formar hidratos de silicato de cálcio, compostos com capacidade de presa, isto é que atuam como cimento em agregados.

Em função da sua composição e da sua atividade pozzolânica, as cinzas volantes são classificadas pela norma ASTM C618 em duas categorias: cinzas volantes da classe F e cinzas volantes da classe C. O teor em cálcio, sílica, alumina e ferro existente na sua composição são a principal diferença entre estas classes, que por sua vez determina as propriedades físicas e químicas do material e em consequência as suas propriedades como material para utilizações tecnológicas.

As cinzas volantes utilizadas para este trabalho foram obtidas numa central termoelétrica portuguesa (Central Termoelétrica do Pego). O que as caracteriza é o seu baixo teor de cálcio (classificação tipo F), apresentarem 74% da massa disponível para dissolução (Si + Al) (Silva et al, 2013). As cinzas possuem propriedades pozzolânicas e requerem um agente de cimentação, que neste caso é um ativador químico o silicato de sódio e o hidróxido de sódio (Soares, 2013).

Silva et al, (2013) testou misturas para BTC de 10% e 15% de cinzas volantes para que pudesse compreender a influência destas no comportamento mecânico. Como seria de esperar, a mistura de 15% obteve melhores valores em termos da resistência mecânica, o que pode ser justificado pela maior densidade e maior percentagem de geopolímeros. Contudo, o valor obtido com os 10% de cinzas é bastante aceitável, já que o valor mínimo recomendável é 2MPa. Na Tabela 3.2 são apresentados os resultados que foram obtidos.

Tabela 3. 2: Resultados da compressão de BTC

Cinzas Volantes %	Densidade de mistura (Kg/m²)	Tensão de Rotura (MPa)
10	1810	8.8
15	1854	12.0

3.2.3 Ativação Alcalina

A técnica de ativação alcalina para a elaboração de ligantes com vista a serem utilizados em diversas áreas da construção civil remonta à década de 40, onde Purdon realizou trabalhos nos quais utilizou escórias ativadas alcalinamente com hidróxido de sódio, sugerindo ainda que este processo se desenvolvia basicamente em duas etapas.

Durante longos anos, muitos foram os nomes que contribuíram para o desenvolvimento desta técnica.

A técnica de ativação alcalina tem sido utilizada recentemente para promover a melhoria de solos. De forma sucinta, esta técnica consiste em criar, através de ligantes à base de sódio ou potássio, um ambiente altamente alcalino que facilite a dissolução da sílica e da alumina presentes na matéria-prima, ocorrendo de seguida uma fase de nucleação e condensação/ precipitação. Esta matéria-prima poderia, idealmente, ser o próprio solo argiloso, visto ser constituído na sua maioria por sílica e alumina. Contudo, estas encontram-se em estado cristalino, logo não disponível para combinações químicas. Daí a necessidade de adicionar cinzas volantes, abundantes também em sílica e alumina, mas em estado amorfo, suscetível de combinar com os componentes do ligante alcalino.



Figura 3. 4: Hidróxido de sódio em estado sólido

De uma forma mais detalhada, é possível referir que este processo ocorre da seguinte forma: a adição de ativadores ao solo produz um aumento de pH, que por sua vez vai provocar a dissolução da sílica e alumina presentes nos minerais argilosos. A dissolução da sílica e alumina origina a formação de um gel, que vai funcionar como ligante e

permitir a reorganização das partículas de solo, formando-se uma estrutura de coagulação, originando então núcleos maiores. Desta forma, ocorre então o aumento do volume dos núcleos, quer através da referida dissolução da sílica e alumina presente nos minerais argilosos, quer através da aglomeração de novas partículas de solo. O referido aumento da dimensão dos núcleos em associação com o produto cimentício, em forma de gel, vai cimentar as partículas do solo e aumentar assim a sua resistência mecânica. O aumento da resistência cessa quando o volume dos núcleos já é tal que não permite a sua expansão (Cristelo, 2009).

Assim, o mecanismo exato que traduz a reação dos aglomerantes obtidos por ativação alcalina ainda não está completamente compreendido, embora a maioria dos autores concorde que esta consiste num processo de três etapas distintas e contínuas, designadamente a dissolução, a orientação e o endurecimento (Torgal *et al.*, 2007).

O hidróxido de sódio utilizado foi adquirido no estado sólido (Figura 3.4) com cerca de 98% de pureza, ou seja, em forma de flocos brancos cristalizados, conhecidos como soda cáustica. Este produto foi dissolvido em água de forma a obter uma concentração de 12,5 mol para os BTC. É necessário ter alguns cuidados aquando o uso deste produto, através do uso de máscara e de luvas de borracha, uma vez que se trata de um produto corrosivo e que pressupõe uma reação exotérmica e com libertação de vapores quando em contacto com a água.

3.3 Quantidades

Silva et al. (2013) realizou estudos a diferentes misturas de materiais, onde foram usados diferentes processos de estabilização de forma a obter a melhor composição. A ativação alcalina de cinzas volantes foi a que apresentou melhores valores em relação a resistência à compressão e foi, portanto, a mistura escolhida para o fabrico dos BTC. Na Tabela 3.3 é apresentada a composição da mistura.

Tabela 3. 3: Composição da mistura para o fabrico do BTC

Cinzas volantes	15%
Componentes líquidos/	0.137
Componentes sólidos	
Concentração de NaOH ₂	12.5 mol
Silicato de sódio/	0.5
Hidróxido de sódio	

Depois de definidos os materiais a utilizar, é necessário quantificar as quantidades necessárias de cada material. Na Tabela 3.4 são descritas as quantidades a utilizar para 1 e para 10 BTC. De salientar que foram consideradas perdas do material de 5%, que a pesagem foi feita numa balança de capacidade máxima de 150Kg e com uma precisão de 50gramas.

Tabela 3. 4: Quantidades necessárias para produção de BTC

	Cinzas (g) (15%)	Solo (g) (85%)	Ativador (g) NaOH ₂ + Na ₂ SiO ₂	NaOH ₂ sólido (g)	Na ₂ SiO ₂ (g)	Água para NaOH ₂ (g)
1 BTC	980,04	5553,53	895,10	198,91	298,37	397,82
10 BTC	9 800,40	55535,30	8 951,00	1 989,10	2 983,70	3 978,20

Foram sempre feitas misturas para a produção de 10 BTC, de forma a otimizar a mistura.

3.4 Processos de produção de BTC

Depois de definida a composição e quantidades dos materiais, foi iniciado o processo de fabrico.

Este processo pode ser dividido em 4 partes diferentes, de acordo com o seguinte:

- Preparação e pesagem dos materiais necessários;
- Mistura dos materiais numa misturadora;
- Prensagem e formação dos blocos;
- Cura dos blocos.

Foram produzidos cerca de 400 BTC para a construção de uma parede simples de dimensões 2.7x4.10m, necessária para a realização dos ensaios acústicos.

3.4.1 Preparação e pesagem

3.4.1.1 Preparação

- **Solo residual granítico**

A preparação do solo iniciou-se com o processo de destorroamento manualmente com recurso de uma enxada, de modo a desfazer torrões cuidadosamente de forma a que o solo não sofra alterações na sua granulometria. Finalizado este processo, o solo foi espalhado num local ao ar livre ou num local suficientemente arejado, dependendo das condições climáticas, de forma a obter uma secagem rápida e o mais homogénea possível do material. Assim que o solo apresentou uma cor mais clara e um aspeto seco foi recolhido e armazenado no laboratório.



(a)



(b)

Figura 3. 5: (a) Destorroamento com recurso enxada; (b) Secagem.

- **Ativador**

Em primeiro lugar é necessário preparar a solução aquosa de hidróxido de sódio. Começou-se por pesar o hidróxido de sódio no estado sólido e a água, sabendo que, para uma concentração de 12.5 mol, por cada kg de dióxido de sódio são necessários 2 Kg de água. Estando pesados os 2 materiais, foram misturados num recipiente de plástico e mexido em circulo cuidadosamente até que o hidróxido se dissolva totalmente na água. De salientar que durante este processo é necessário ter cuidados, como o uso de luvas e máscara evitando assim queimadura e inalação de gases libertados por este processo. É sempre necessário que esta solução arrefeça antes de ser usada na mistura para o fabrico de BTC, o que faz com que seja um processo bastante demorado.

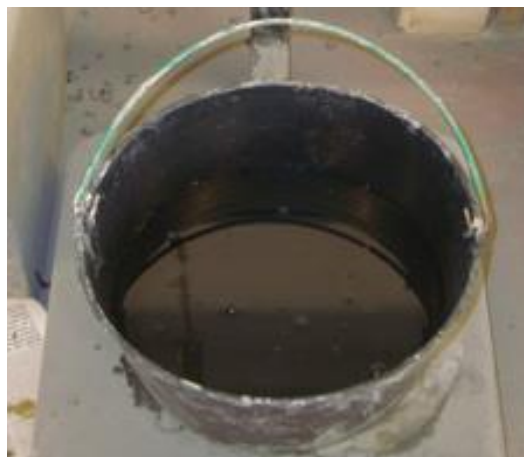


Figura 3. 6: Mistura de hidróxido de sódio e água

3.4.1.2 Pesagem

A seguir à preparação, foi realizada a pesagem dos 3 constituintes da mistura para os BTC. Para tal, foi usado uma balança de capacidade máxima de 150Kg e uma precisão de 50grama, como já foi referida. De salientar que cada pesagem feita deu origem à produção de 10 BTC.

Na tabela 3.5 estão descritas as quantidades dos constituintes para uma mistura.

Tabela 3. 5: Quantidades em Kg

	Solo	Cinzas	Ativador
1Mistura (10 BTC)	55.55	9.8	8.95

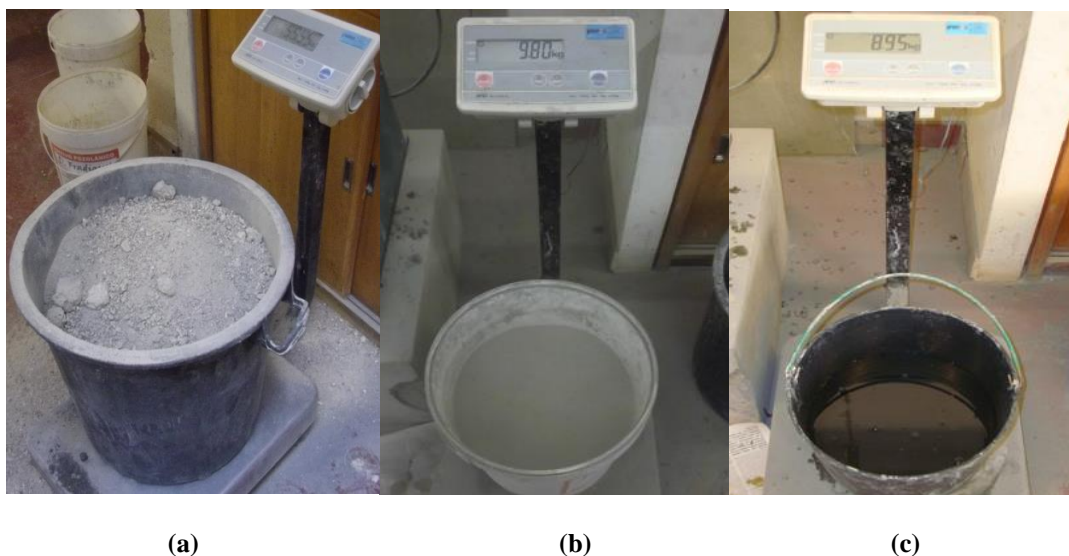


Figura 3. 7: Pesagem dos três constituintes: (a) Solo; (b) Cinzas; (c) Ativador.

3.4.2 Mistura dos materiais

Depois de pesados, os materiais estão prontos a serem misturados. A mistura dos materiais foi feita com a ajuda duma misturadora vertical de 3 pás giratórias. De salientar, mais uma vez, que este processo tem de ser feito com equipamento de segurança, ou seja, luvas e máscara, de modo a não ocorrer queimaduras nem inalação de gases.

A primeira etapa é a mistura dos materiais sólidos, ou seja da terra e da cinza volante. Colocaram-se os 2 materiais dentro da misturadora cerca d 5 minutos, até se obter uma

mistura homogênea (Figura 3.8). Durante esta etapa é necessário verificar se vão ficando alguns torrões por desfazer manualmente ou pedras para tirar.



Figura 3. 8: Mistura sólida homogênea

De seguida adicionou-se a parte líquida, onde o ativador é adicionado. Este processo não é feito todo de uma só vez, ou seja, o ativador é inserido em 2 ou 3 vezes (Figura 3.9a)). Mais uma vez, é necessário ter especial atenção à formação de grânulos (Figura 3.9b)), devido às partículas mais finas se unirem com a introdução o ativador, o que obriga que manualmente se vão desfazendo esses grânulos. É necessário, também, parar a misturadora e com a ajuda duma colher de padeiro (Figura 3.9c)) misturar o material seco, nos sítios inacessíveis às pás da misturadora, com a restante mistura, até obter uma mistura mais homogênea possível.



(a)

(b)

(c)

Figura 3. 9: (a) Introdução do ativador; (b) Formação de grânulos; (c) Utilização da colher de padeiro.

Depois da obtenção de uma mistura o mais homogênea possível, esta é retirada da misturadora, através de uma abertura na parte de baixo, e levada com a ajuda de um carrinho de mão para junto da balança onde será pesado a quantidade necessária para cada BTC.



(a)

(b)

Figura 3. 10: (a) Retirada da mistura; (b) Pesagem quantidade para 1 BTC.

3.4.3 Prensagem

Depois de pronta a mistura homogênea, como já foi referido, esta é retirada, levada para junto da balança e pesada a quantidade necessária para cada BTC (Figura 3.10). Essa quantidade corresponde a cerca de 7.05 Kg de mistura.

O passo seguinte passou por colocar a mistura pesada dentro do molde da prensa, que previamente é oleada com um óleo descofrante. A mistura é espalhada e nivelada manualmente antes de se fechar o molde de modo a comprimir a mistura e assim formar o bloco. Por último o bloco é retirado da prensa, cuidadosamente, e colocado sobre uma tabua de madeira, de modo a ser mais fácil o meu transporte enquanto fresco.

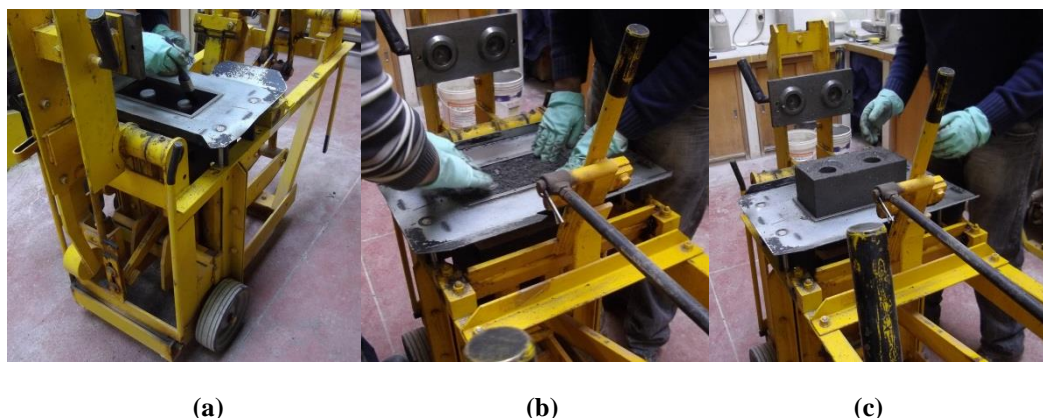


Figura 3. 11: (a) Aplicação do óleo; (b) Espalhamento e nivelção manual; (c) BTC pronto.

Para a prensagem destes BTC, foi utilizada uma prensa manual Terstaram, que permite a aplicação de cerca de 2 MPa de pressão.

3.4.4 Cura dos blocos

Depois de prensados os BTC foram retirados da prensa e colocados sobre uma tábua de madeira, como já foi referido, e deixados a secar algumas horas, de modo a que ganhassem alguma coesão de forma a serem manuseados e movidos. De seguida foram colocados no chão do laboratório durante cerca de uma semana para que ganhassem alguma resistência para poderem ser empilhados (Figura 3.12). Passado essa semana foram empilhados, continuando assim a sua cura até à construção da parede. De salientar a importância de não empilhar mais 5 BTC, de forma a não sobrecarregar os de baixo, e deixar espaço entre eles para que seja possível a circulação do ar.

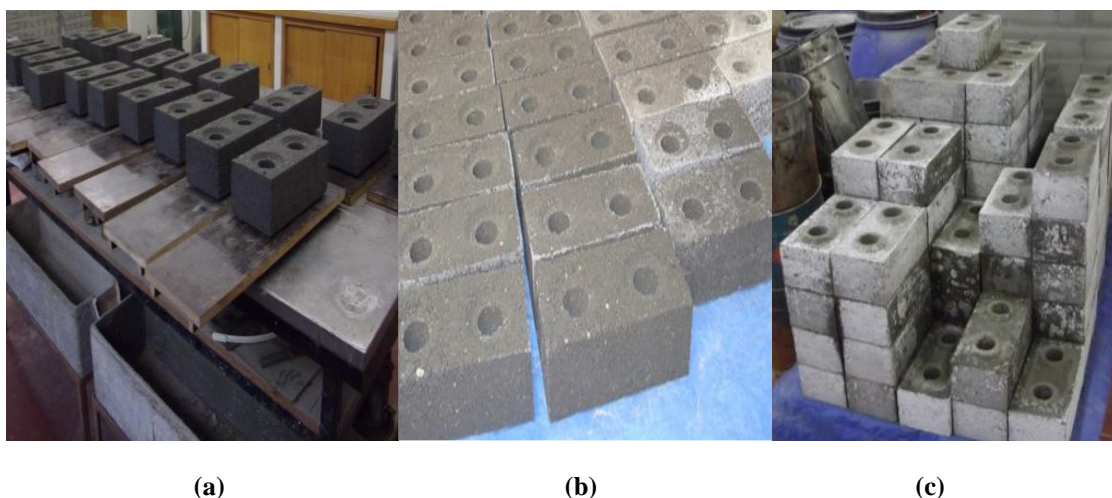


Figura 3. 12: Diferentes estados de cura do BTC: (a) Estado fresco; (b) Algumas horas de cura; (c) Algumas semanas de cura.

De acordo com a norma EN 772-1, onde é exigido uma temperatura superior a 18°C e humidade relativa inferior a 6.5%, foram feitas medições à temperatura e humidade relativa, durante cerca de 30 dias, no local de cura dos BTC. Durante este período registou-se uma temperatura média de 18°C e uma humidade relativa de 5.2%, que permite concluir que estão no intervalo de valores definidos pela norma EN 772-1.

3.5 Geometria do BTC

A geometria deste bloco consiste num bloco retangular oco, com duas aberturas verticais com uma saliência que ajudam no sistema de encaixe.

Os dois furos, para além de diminuir o peso do bloco, podem ser úteis para introdução de armadura vertical caso seja necessárias ou menos para servir de passagem para as instalações elétricas ou redes hidráulicas.

Uma alvenaria feita com estes blocos consiste num sistema de encaixe conseguido sem argamassa, mesmo sendo a parede construída a pano simples ou duplo. O que torna a execução deste tipo de parede mais fácil e económica.

Na Tabela 3.6 e na Figura 3.13 são apresentadas todas as medidas e a geometria de um BTC.

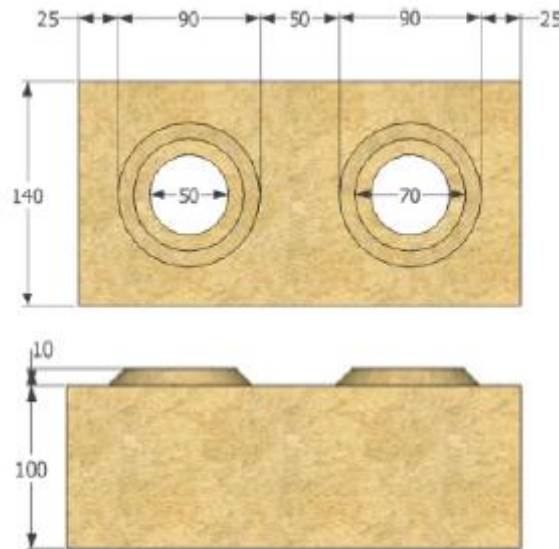


Figura 3. 13: Geometria e medidas dos BTC (mm)

Tabela 3. 6: Dimensões do bloco

Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	Volume (mm ³)
280	140	100	50	352,7	3527

3.6 Considerações finais

Conclui-se que o solo residual granítico do Minho mostrou não ser adequado para a construção em terra, sem a adição do estabilizante. A introdução do estabilizante, melhora em muito a resistência do solo.

O estabilizante usado neste estudo foi a ativação alcalina de cinzas volantes, uma vez que é um estabilizante mas económico, sustentável e ecológico.

Por último, pode-se concluir que, nos BTC em que a cura é feita à exposição atmosférica, resulta o aparecimento de eflorescências nas suas superfícies devido ao sódio presente no ativador. Normalmente estas eflorescências são notadas devido a cor cinza ficar muito próximo do branco (Figura 3.14).



Figura 3. 14: Aparecimento de eflorescências

Capítulo 4

Ensaio de caracterização acústica dos BTC

4.1 Considerações iniciais

Com este capítulo pretende-se descrever detalhadamente os ensaios que foram realizados com o presente trabalho, explicando as condicionantes, identificando os equipamentos a sua instalação, o procedimento de cálculo e todos os parâmetros que tiveram de ser calculados para o efeito.

Os ensaios descritos mais à frente foram realizados com ajuda de dois documentos internos, baseados nas noemas de ensaio, fornecidos pelo Laboratório de Física e Tecnologias das Construções, onde está descrito ao pormenor todo o processo, desde a instalação e funcionamento dos equipamentos, até à parte das medições. Os documentos fornecidos foram: DEC/LFTC/P04- Avaliação *in situ* do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado de elementos de compartimentação; DEC/LFTC/P03- Avaliação dos tempos de reverberação.

4.2 Ensaio Acústico

Estes ensaios, destinados a avaliar o isolamento sonoro relativamente a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$) e o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,w}$), foram realizados no laboratório de Física e Tecnologias das Construções da Universidade do Minho, num câmara reverberante (Figura 1). O resultado destes ensaios permitem verificar o cumprimento deste requisito acústico ($D_{nT,w}$) em comparação com os limites propostos pelo Decreto-Lei nº96/2008 de 09 de julho (RRAE).



Figura 4. 1: Câmara de reverberação

O procedimento de ensaio foi realizado de acordo com as seguintes normas e regulamentos:

- Decreto-Lei n.º 96/2008 de 09 de junho – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE);
- NP EN ISO 354:2007 - Acústica. Medição da absorção sonora em câmara reverberante (ISSO 354:2003);
- NP EN ISO 140-4 – Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos;
- ISO 717-1 – *Acoustics. Rating of sound insulation in building and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation in buildings and of interior building elements.*

4.2.1 Materiais e equipamentos

As materiais e equipamentos necessários para a realização dos ensaios foram os que a seguir são descritos:

- Sonómetro

Um sonómetro é o instrumento de medição da pressão sonora. No caso em estudo foi utilizado um sonómetro CEL modelo 573.C1, classe de exatidão 1, número de série 3/1011913.

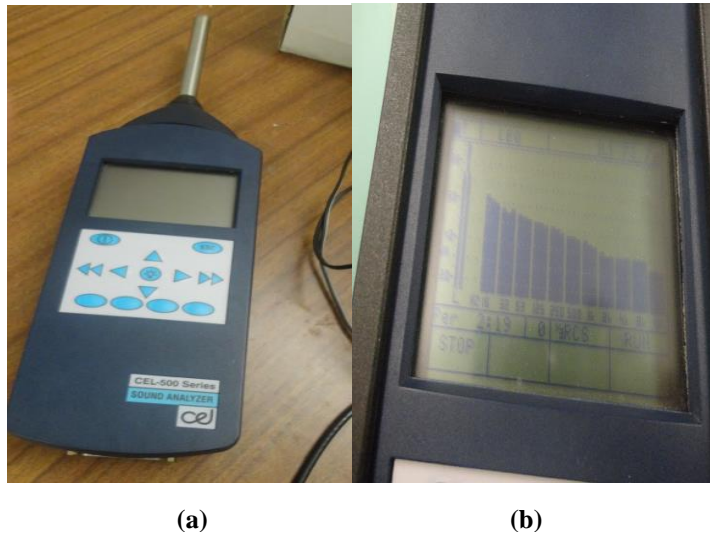


Figura 4. 2: (a) Sonómetro; (b) Sonómetro a medição

- **Calibrador acústico**

O calibrador é o equipamento utilizado para calibrar o sonómetro, permitindo assim, que as medições realizadas possam ser consideradas válidas. De salientar que o modelo utilizado não foi o da imagem a baixo (Figura 4.3), mas sim um calibrador acústico modelo CEL-284/2, número de série 4/06124406.



Figura 4. 3: Exemplo de calibrador acústico

- **Gerador de ruído**

O gerador de ruído, como o próprio nome indica, produz o ruído. Contudo sem a fonte sonora não produz qualquer tipo de som. Para o ensaio foi utilizado um gerador de ruído modelo CEL 513, com o número de série 074270 (Figura 4.4).



Figura 4. 4: Gerador de ruído

- **Fonte sonora**

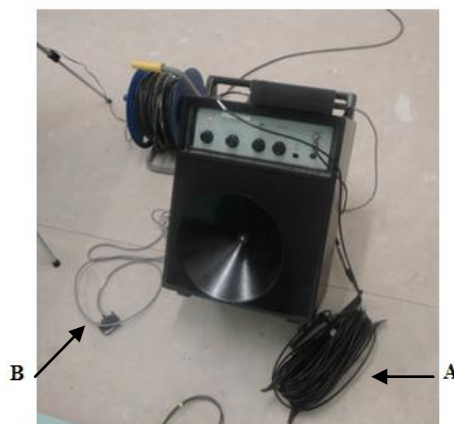
A fonte sonora é o instrumento que gera as ondas sonoras. Para estes ensaios foi utilizada uma fonte sonora modelo B&K 4224, número de série 1776816 (Figura 4.5).



Figura 4. 5: Fonte sonora

- **Cabos de ligação**

Estes acessórios servem para fazer a ligação entre o gerador de ruído e a fonte sonora, e sonómetro e o gerador de ruído. Para o ensaio foram utilizados o cabo gerador de ruído / fonte sonora ref^a C6658/20-01, e o cabo sonómetro / gerador de ruído ref^a C6660/5.



**Figura 4. 6: A- cabo gerador de ruído / fonte sonora ref^a C6658/20-01;
B- cabo sonómetro / gerador de ruído ref^a C6660/5**

- **Tripé**

O tripé é o suporte utilizado para colocar o sonómetro. É um tripé que pode ser moldado a diferentes alturas, de fácil transporte e fácil manuseamento.



(a)

(b)

Figura 4. 7: (a) Tripé; (b) Tripé com o sonómetro.

4.2.2 Instalação de equipamento e medição

Importa referir que o ensaio foi realizado em três tipos de paredes diferentes e para cada tipo de parede foram efetuadas duas medições para cada parâmetro. Os tipos de paredes ensaiadas foram:

- a) Parede de junta seca;
- b) Parede com betume;
- c) Parede com 2cm isolamento de cortiça.



(a)



(b)



(c)

Salienta-se, também, que os ensaios foram realizados sempre da mesma forma, ou seja, para cada tipo de parede foram feitos dois ensaios onde o sonómetro e a fonte sonora trocavam de lugar a cada ensaio, voltando aos mesmos locais no ensaio da parede seguinte, Foi tido muito cuidado com a localização dos equipamentos para que os dados pudessem ser o mais homogéneos possíveis.

Para este ensaio foi necessário fazer a medição de quatro parâmetros diferentes e de medições diferentes, logo, os locais de medição de cada equipamento é também diferente. As medições necessárias que foram realizadas são as seguintes:

- Medição do Tempo de reverberação (T);
- Medição dos níveis sonoros no compartimento emissor (L_1);
- Medição níveis sonoros no compartimento recetor (L_2);
- Medição do ruído de fundo (L_b).

Como atrás foi referido no subcapítulo 4.2, os ensaios foram realizadas no Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho, numa câmara reverberante de dimensões 4.47x4.03 m. Esta câmara permite o controlo adequado do desempenho acústico e térmico, possuindo um pórtico móvel com dimensões interiores de 4.2x2.7 m onde foi construída a parede de BTC para ser ensaiada.



Figura 4. 8: Câmara de reverberação e pórtico móvel com a parede simples em BTC.

Uma vez que o pórtico é móvel, permitiu a construção da parede distanciada da câmara (Figura 4.8) de modo a facilitar construção da mesma. O pórtico possui um motor de elevada potência e é movimentado com recurso a um sistema de engrenagens permitindo a sua deslocação paralela à parede.

Depois de construída, a parede foi encostada à câmara de ensaio por compressão de uma interface de material compactável de densidade elevada, permitindo assim, a minimização de transmissões acústicas e térmicas na ligação parede com a câmara. De salientar que não foi necessário desencostar a mesma para alterar a constituição da parede uma vez que as alterações foram conseguidas com a parede junto da câmara.

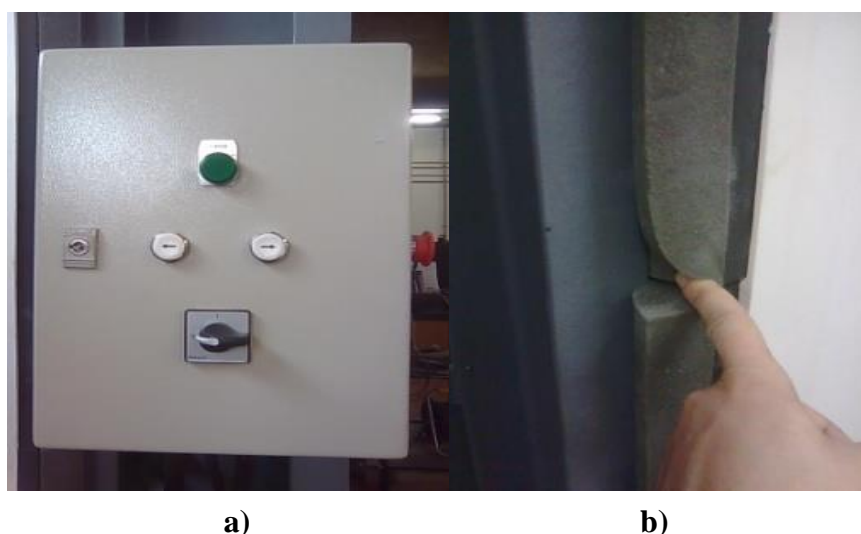


Figura 4. 9: (a) Painel de controlo de distância; (b) Material de interface

Importa referir que, para o ensaio em questão, foi necessário definir um compartimento emissor e recetor, sendo que, o compartimento emissor foi a parte exterior da câmara, ou seja, o espaço do laboratório, e o compartimento recetor foi o interior da própria câmara.

A instalação do equipamento começou pela sua montagem, ou seja, a montagem da fonte sonora, do gerador de ruído e do sonómetro, este juntamente com o tripé, ligando entre si os equipamentos através dos cabos de ligação. De seguida passou-se à calibragem do equipamento, isto é, foi introduzido o calibrador acústico no sonómetro, ligado, dando início à calibração, até ajustar o nível sonoro a 114 dB. Depois de calibrado o equipamento, começou-se a medição dos quatro parâmetros necessários para o cálculo do índice de isolamento sonoro. Os quatro parâmetros são descritos nos pontos seguintes.

4.2.2.1 Medição do tempo de reverberação

De uma forma simples, o tempo de reverberação define-se como o intervalo de tempo durante o qual, a energia volúmica do campo sonoro se reduz a um milésimo do seu valor inicial, ou seja um abaixamento do nível de pressão de 60dB.

Esta medição é feita em conformidade com a norma NP EN ISO 354, e é determinada a partir de uma curva de decaimento da pressão sonora, depois da fonte sonora ter sido desligada. A contagem do tempo deve iniciar-se cerca de 0,1 s após o início do decaimento, ou, a partir de um nível de pressão sonora que se situa alguns decibéis abaixo do nível correspondente ao início desse decaimento. A amplitude do decaimento deve ser de pelo menos 20 dB e deve ser limitada de forma a que o decaimento observado se assemelhe a uma linha reta. O limite inferior dessa amplitude deve situar-se, 10 dB acima do nível do ruído de fundo. O número mínimo de cada decaimento é de 6 em cada banda de frequência.

Esta medição é feita com todos os equipamentos dentro da câmara de reverberação posicionados estrategicamente para aquela medição. O equipamento que é necessário ter em especial atenção, aquando da escolha do local, é o sonómetro, uma vez que este deve obedecer a certas regras (Figura 4.10). Os dois locais de posicionamento do sonómetro teriam de estar afastados entre si no mínimo 50cm.

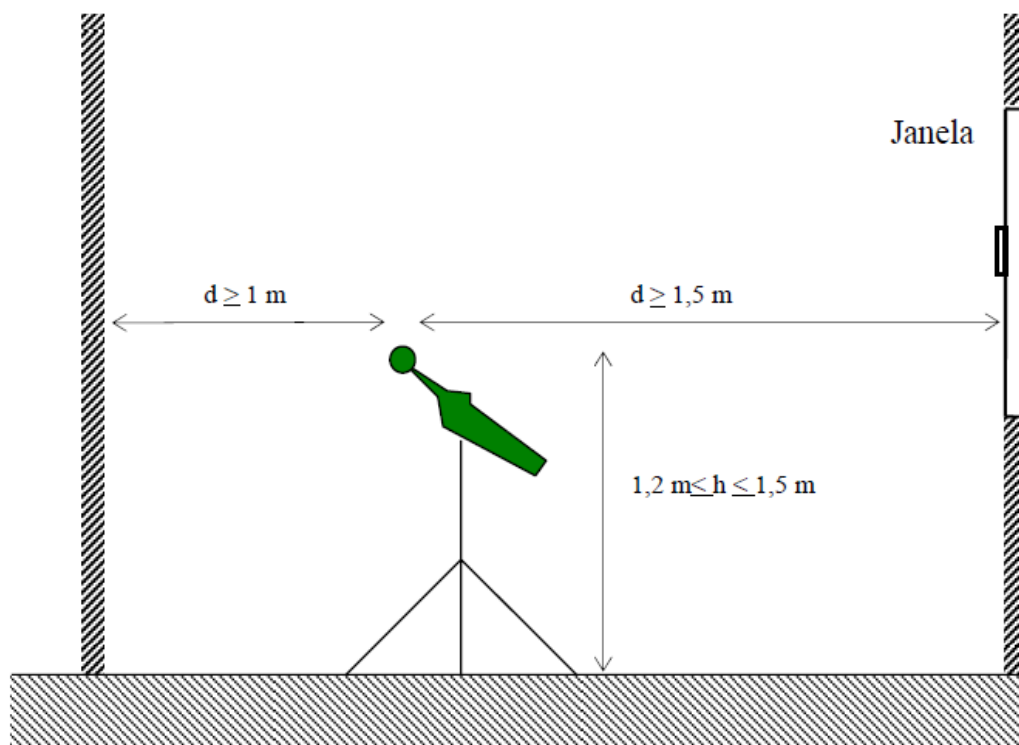


Figura 4. 10: Regras de posicionamento do sonómetro

4.2.2.2 Medição dos níveis sonoros no compartimento emissor (L_1);

Este ensaio foi realizado com base na norma NP EN ISO 140 e ISO 717. As medições dos níveis sonoros no compartimento emissor devem ser efetuadas por bandas de um terço de oitava na gama das bandas de frequência centrais compreendida entre os 100 Hz e os 3150 Hz. As medições acústicas são efetuadas com a fonte sonora e o sonómetro no compartimento emissor. A fonte sonora foi colocada em 2 posições diferentes distribuídas aleatoriamente sobre o pavimento e o sonómetro deve se distribuída uniformemente no espaço disponível para a medição cumprindo as distâncias mínimas de afastamento seguintes, de acordo com as normas de referência:

- 0,7 m entre posições de microfones;
- 0,5 m entre uma qualquer posição de sonómetro e as fronteiras do compartimento e elementos difusores;

- 1,0 m entre uma posição qualquer do sonómetro e a superfície superior do pavimento excitado pela máquina de percussão.

4.2.2.3 Medição níveis sonoros no compartimento recetor (L_2);

As medições dos níveis sonoros no compartimento recetor devem ser efetuadas por bandas de um terço de oitava na gama das bandas de frequência centrais compreendida entre os 100 Hz e os 3150 Hz. A fonte sonora foi mantida no compartimento emissor e foi colocada em 2 posições diferentes, distribuídas aleatoriamente sobre o pavimento. O sonómetro foi colocado no compartimento recetor e distribuído uniformemente no espaço disponível para a medição cumprindo as distâncias mínimas de afastamento seguintes:

- 0,7 m entre posições de microfones;
- 0,5 m entre uma qualquer posição de sonómetro e as fronteiras do compartimento e elementos difusores;
- 1,0 m entre uma posição qualquer do microfone e a superfície superior do pavimento excitado pela máquina de percussão.

4.2.2.4 Medição do ruído de fundo (L_b).

O nível do ruído de fundo deve ser medido com o intuito de se assegurar que as medições realizadas no compartimento recetor não são influenciadas por ruídos perturbadores, tais como: os ruídos exteriores ao compartimento de ensaio, os ruídos elétricos do sistema de captação de sinal ou, ainda, as interferências elétricas entre os sistemas emissor e recetor. A medição do ruído de fundo é efetuada em apenas uma amostragem com a duração de 5 minutos.

O nível do ruído de fundo (L_b) deve estar, no mínimo 6 dB (de preferência 10 dB) abaixo do nível do sinal e do ruído de fundo combinados (L_2). Nos casos em que a diferença de níveis $L_2 - L_b$ seja inferiores a 10 dB deve-se calcular o valor de L_2 corrigido de acordo com a Tabela 4.1.

Tabela 4. 1: Correção do ruído de fundo

Situação	L_2 a considerar (dB)
$L_2 - L_b \geq 10$ dB	$L_{2 \text{ corrigido}} = L_2$ dB
$6 \text{ dB} \leq L_2 - L_b < 10$ dB	$L_{2 \text{ corrigido}} = 10 \text{ Log } (10^{L_2/10} - 10^{L_b/10})$ dB
$L_2 - L_b < 6$ dB	$L_{2 \text{ corrigido}} = L_{2 \text{ medido}} - 1.3$ dB

4.2.3 Procedimento de cálculo

Os parâmetros que se pretende calcular é o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, e o Índice de redução sonora, R_w . Estes valores, são obtidos através da ordenada da curva de referência descrita na secção 4.3 da ISO 717-1 para a frequência de 500 Hz, determinado segundo o procedimento indicado na mesma secção.

Os resultados das medições são guardados na memória do sonómetro. Posteriormente, são transferidos para o computador e tratados de modo a que e possa passar ao cálculo do $D_{nT,w}$ e do R_w .

Para que parâmetro $D_{nT,w}$ seja calculado, é necessário, antes, calcular o Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, D_{nT} . Esse valor é calculado através da diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor (L_1) produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor (L_2), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a Expressão1:

$$D_{n,T} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad (1)$$

Em que:

- L_1 é o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor;
- L_2 é o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor;
- T é o tempo de reverberação do compartimento recetor, em segundos;
- T_0 é o tempo de referência, em segundos.

O parâmetro T_0 é o tempo de reverberação de referência, em segundos: para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis, o caso em estudo, $T_0 = 0,5$ s; para compartimentos em que haja tempo de reverberação atribuível em projeto, o valor de referência a considerar será o do respetivo tempo de dimensionamento.

Depois de calculado o isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada, passou-se ao cálculo o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$.

Com base nos valores do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ($D_{n,T}$), para cada frequência central das bandas de 1/3 de oitava compreendidas entre os 100 Hz e os 3150 Hz, determina-se o valor de $D_{nT,w}$ através da comparação da curva de referência com a curva de valores medidos. A comparação entre as duas curvas é realizada com variações de 1 dB e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menor ou igual a 32 dB. Considera-se que o desvio desfavorável numa dada frequência corresponde ao valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência.

Para o cálculo do parâmetro R_w , é necessário antes calcular o índice de redução sonora aparente, R , segundo a Expressão 2:

$$R = D_{n,T} - 10 * \log \left(\frac{0.16 * V}{0.5 * A} \right) \quad (2)$$

Em que:

- $D_{n,T}$ - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado;
- V - Volume do compartimento recetor;
- A - Área do elemento construtivo.

Em seguida a se ter calculado o índice de redução sonora aparente, R , procedeu-se ao cálculo do R_w , da mesma forma que o cálculo do valor de $D_{nT,w}$ através da comparação da curva de referência com a curva de valores calculados de R .

4.4 Considerações finais

Os dados depois de transferidos para o computador, foram inicialmente verificados ao pormenor, para averiguar se nenhum deles obteve erro no cálculo. Caso se verifica-se algum erro a medição teria de ser feita de novo.

Como já foi referido, foram feitas 2 medições para cada tipo de parede, para que posteriormente, através da média fosse possível chegar a um só valor de $D_{nT,w}$ e de R_w . Nestas medições os locais de medição foram os sempre os mesmos, trocando de local o sonómetro e a fonte sonora a cada medição.

De forma a ser mais fácil perceber os resultados obtidos, foram feitas tabelas e gráficos com os resultados obtidos depois dos ensaios e depois de tratados os dados. Estas tabelas e gráficos são apresentados no Capítulo 5.

Capítulo 5

Resultados

5.1 Considerações iniciais

Depois de instalados os equipamentos, de terem sido realizadas as medições e de recolhidos os dados, procedeu-se ao tratamento dos mesmos. Os dados inicialmente ficam guardados no sonómetro e mais tarde transferidos para um computador num formato “wkl”. Para ser possível o seu tratamento, estes são posteriormente transferidos para o formato “xls”.

Salienta-se que, de forma a fazer uma caracterização mais completa, estes ensaios foram realizados em 3 paredes de constituição diferente, as quais são, novamente, descritas a seguir:

- Parede simples sem betume;
- Parede simples com betume;
- Parede com betume e isolamento de 2 cm.

Importa ainda referir que, para a comparação de resultados e obtenção de um único valor para cada parede, foi feito uma média aritmética dos 2 resultados do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea de cada parede.

5.2 Análise de resultado

O principal objetivo do ensaio visa conhecer o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, e o índice de redução sonora, R_w , sendo estes parâmetros obtido de acordo com a norma ISO 717-1. Para cada tipo de parede foram então realizados 2 ensaios com 2 posições distintas da fonte sonora e do sonómetro, realizando-se um total de 6 ensaios.

De seguida serão apresentados os valores medidos com os seis ensaios, assim como, os gráficos traçados a partir desses valores, 2 por cada parede.

5.2.1 Parede simples sem betume

Esta parede é constituída simplesmente com o BTC produzido. Os BTC são produzidos com 2 aberturas verticais e 2 saliências que faz com que o seu encaixe seja mais facilitado, como foi demonstrado no subcapítulo 3.5, da presente dissertação.

Para esta tipo de parede as medições foram feitas no mesmo dia, sendo que a primeira, foi realizada da parte de manhã e a segunda da parte da tarde.

De seguida são apresentados os resultados das 2 medições para este tipo de parede:

1) Primeira medição

Tabela 5. 1: Resultados da primeira medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}

Freq. [Hz]	L1 [dB]	L2 [dB]	L2 corr [dB]	B2 [dB]	T[s]	$D_{n,T}$
100	81,3	63,2	63,2	32,5	0,52	18,3
125	77,0	69,4	69,4	32,2	0,42	6,8
160	83,6	71,6	71,6	34,3	0,56	12,5
200	83,1	71,3	71,3	39,3	0,30	9,6
250	82,9	70,5	70,5	36,1	0,39	11,3
315	85,8	66,8	66,8	34,4	0,45	18,5
400	88,1	64,2	64,2	30,8	0,44	23,3
500	88,0	65,9	65,9	37,1	0,37	20,8
630	87,6	67,9	67,9	35,5	0,50	19,7
800	86,2	60,8	60,8	33,4	0,52	25,6
1000	84,0	52,1	52,1	31,0	0,66	33,1
1250	83,5	54,0	54,0	29,8	0,48	29,3
1600	83,9	54,0	54,0	30,4	0,37	28,6
2000	85,0	54,8	54,8	31,4	0,34	28,5
2500	82,3	53,3	53,3	30,7	0,37	27,7
3150	79,3	45,4	45,4	28,5	0,47	33,6

Na Tabela 5.1 são apresentados os resultados de todos os parâmetros calculados para a primeira medição, sendo eles: a medição dos níveis sonoros no compartimento emissor (L_1); Medição do ruído sonoro no compartimento recetor (L_2); A medição do ruído de fundo no compartimento recetor (B_2); A medição do ruído no compartimento sonoro corrigido; o tempo de reverberação (T); e por fim o Isolamento sonoro a sons de condução

aérea padronizada ($D_{n,T}$). Todos estes parâmetros são apresentados em decibéis (dB) e medidos segundo uma frequência em hertzes (Hz).

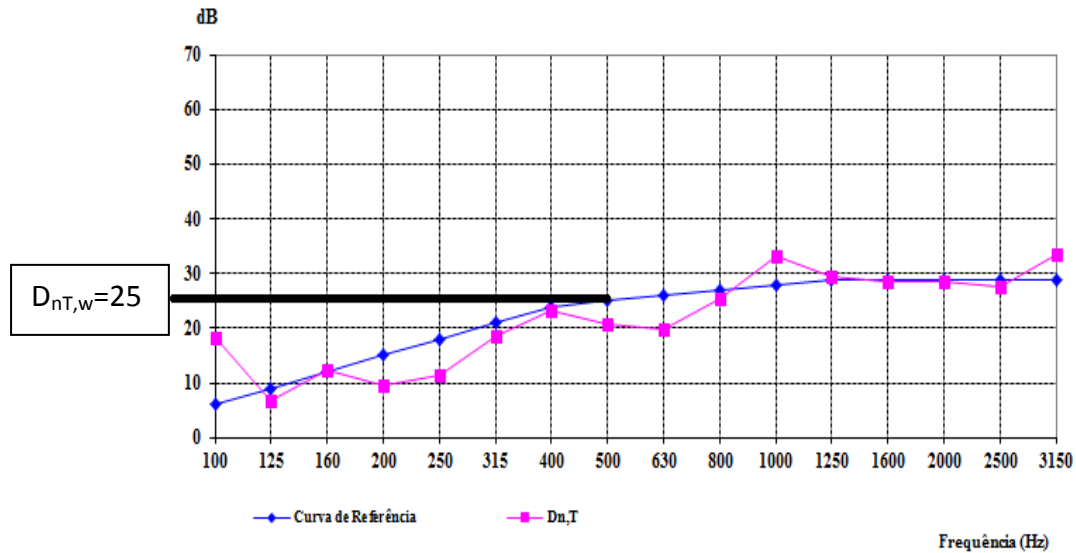


Figura 5. 1: Curva de referência e $D_{n,T}$

Da análise do gráfico da Figura 5.1 pode-se concluir que o valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,w}$), para este tipo de parede, toma a valor de 25dB.

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, a partir da comparação entre os valores do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$), calculado na Tabela 1, e a curva de referência. A comparação entre as 2 curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menor que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtém-se um desvio desfavorável de 31.5 dB, como se pode verificar na Tabela 5.2.

Tabela 5. 2: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$

Frequências	Curva de Referência	$D_{n,T}$	Desvios Desfavoráveis
100	6,0	18,3	0,0
125	9,0	6,8	2,2
160	12,0	12,5	0,0
200	15,0	9,6	5,4
250	18,0	11,3	6,7
315	21,0	18,5	2,5
400	24,0	23,3	0,7
500	25,0	20,8	4,2
630	26,0	19,7	6,3
800	27,0	25,6	1,4
1000	28,0	33,1	0,0
1250	29,0	29,3	0,0
1600	29,0	28,6	0,4
2000	29,0	28,5	0,5
2500	29,0	27,7	1,3
3150	29,0	33,6	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			31,5

Da análise do gráfico da Figura 5.2 pode-se concluir que o valor do índice de redução sonora (R_w), para este tipo de parede tem o valor de 25 dB.

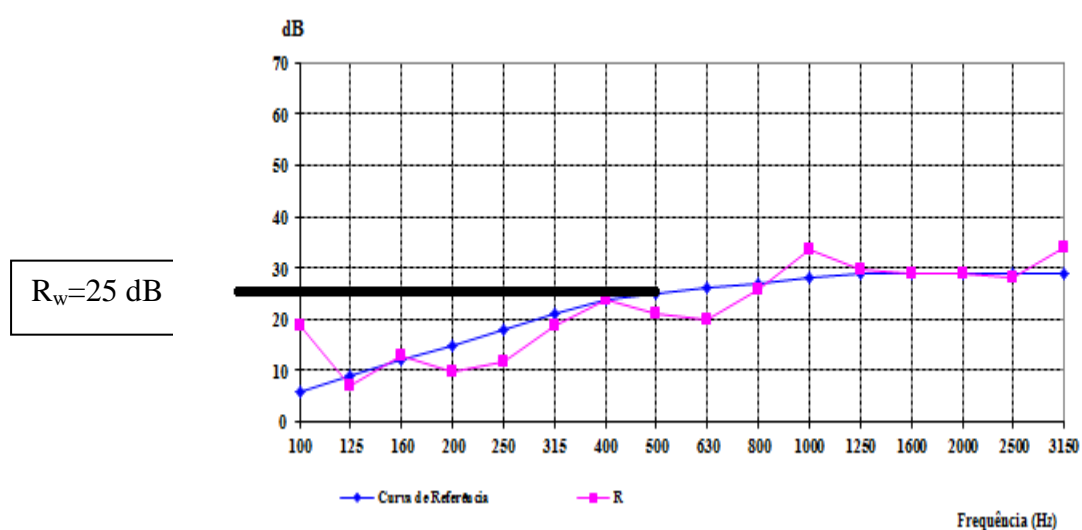


Figura 5. 2: Curva de referência e R

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, tal como valor de $D_{nT,w}$, partir da comparação entre a curva de valores do índice de redução sonora aparente (R), e a curva de referência. A comparação entre as 2 curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menor que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtém-se um desvio desfavorável de 27,9 dB, como se pode verificar na Tabela 5.3.

Tabela 5. 3: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor R_w

Frequências	Curva de Referência	R	Desvios Desfavoráveis
100	6,0	18,6	0,0
125	9,0	7,2	1,8
160	12,0	12,8	0,0
200	15,0	9,9	5,1
250	18,0	11,6	6,4
315	21,0	18,9	2,1
400	24,0	23,7	0,3
500	25,0	21,1	3,9
630	26,0	20,0	6,0
800	27,0	25,9	1,1
1000	28,0	33,4	0,0
1250	29,0	29,6	0,0
1600	29,0	28,9	0,1
2000	29,0	28,8	0,2
2500	29,0	28,0	1,0
3150	29,0	34,0	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			27,9

2) Segunda medição

Tabela 5. 4: Resultados da segunda medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}

Freq. [Hz]	L1 [dB]	L2 [dB]	L2 corr [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	$D_{n,T}$
100	82,7	63,9	63,9	27,8	0,29	16,4
125	78,1	71,1	71,1	33,6	0,35	5,5
160	82,6	72,0	72,0	31,4	0,31	8,5

(Continua)

(Continuação)

200	83,4	66,9	66,9	34,0	0,44	15,9
250	84,4	64,5	64,5	29,6	0,43	19,2
315	87,1	65,9	65,9	26,5	0,59	21,9
400	85,7	65,1	65,1	23,9	0,61	21,5
500	89,3	65,6	65,6	21,7	0,58	24,3
630	89,8	65,1	65,1	19,5	0,52	24,9
800	85,0	60,0	60,0	19,5	0,57	25,6
1000	82,7	51,3	51,3	18,7	0,47	31,1
1250	83,6	52,5	52,5	19,2	0,55	31,5
1600	85,6	53,7	53,7	20,8	0,54	32,2
2000	85,6	54,9	54,9	22,4	0,51	30,8
2500	85,0	54,4	54,4	22,2	0,51	30,7
3150	80,3	46,3	46,3	20,9	0,52	34,2

Na Tabela 5.4 apresentam-se os resultados de todos os parâmetros calculados para a segunda medição, sendo eles: a medição dos níveis sonoros no compartimento emissor (L_1); Medição do ruído sonoro no compartimento recetor (L_2); A medição do ruído de fundo no compartimento recetor (B_2); A medição do ruído no compartimento sonoro corrigido; o tempo de reverberação (T); e por fim o Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$). Todos estes parâmetros são apresentados em decibéis (dB) e medidos segundo uma frequência e hertzes (Hz).

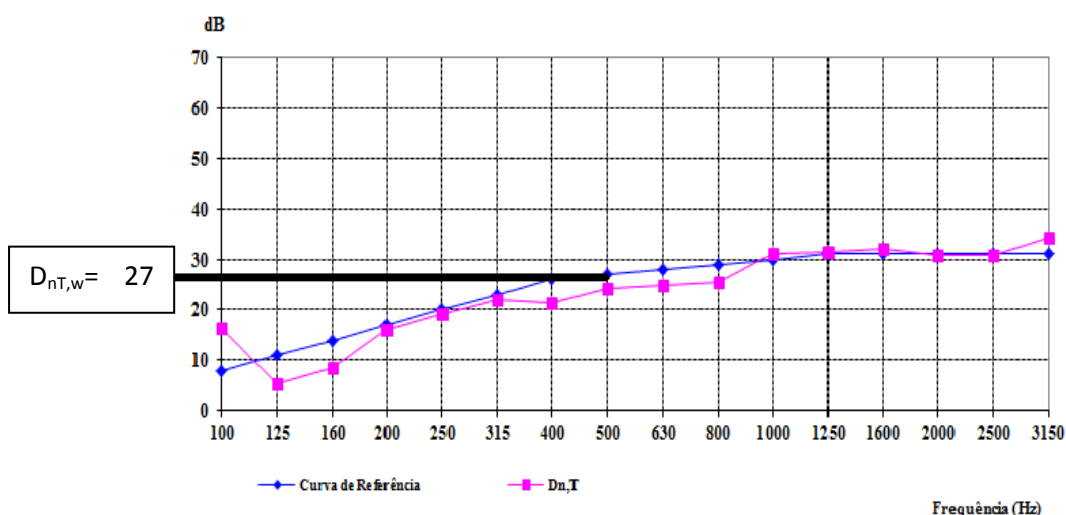


Figura 5. 3: Curva de referência e $D_{n,T}$

Da análise do gráfico da Figura 5.3 podemos concluir que o valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,w}$), para este tipo de parede, toma a valor de 27dB.

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, a partir da comparação entre os valores do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$), calculado na Tabela 3, e a curva de referência. A comparação entre as duas curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menos que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtemos um desvio desfavorável de 28,2 dB, como podemos verificar na Tabela 5.5.

Tabela 5. 5: Calculo dos desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$

Frequências	Curva de Referência	$D_{n,T}$	Desvios Desfavoráveis
100	8,0	16,4	0,0
125	11,0	5,5	5,5
160	14,0	8,5	5,5
200	17,0	15,9	1,1
250	20,0	19,2	0,8
315	23,0	21,9	1,1
400	26,0	21,5	4,5
500	27,0	24,3	2,7
630	28,0	24,9	3,1
800	29,0	25,6	3,4
1000	30,0	31,1	0,0
1250	31,0	31,5	0,0
1600	31,0	32,2	0,0
2000	31,0	30,8	0,2
2500	31,0	30,7	0,3
3150	31,0	34,2	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			28,2

≤32

Da análise do gráfico da Figura 5.4 pode-se concluir que o valor do índice de redução sonora (R_w), para este tipo de parede tom o valor de 27 dB.

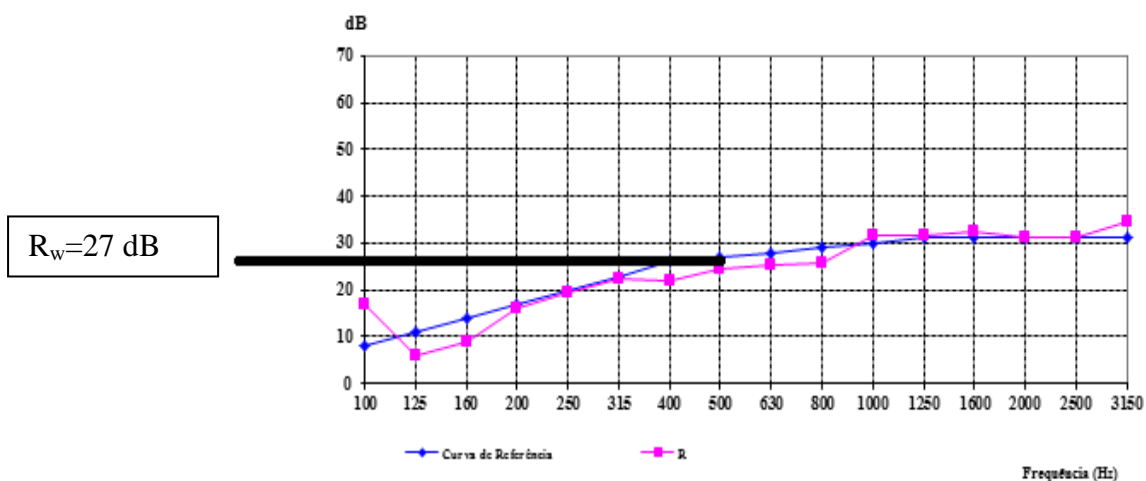


Figura 5. 4: Curva de referência e R

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, tal como valor de $D_{nT,w}$, partir da comparação entre a curva de valores do índice de redução sonora aparente (R), e a curva de referência. A comparação entre as 2 curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menor que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtém-se um desvio desfavorável de 24.7 dB, como se pode verificar na Tabela 5.6.

Tabela 5. 6: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor de R_w

Frequências	Curva de Referência	R	Desvios Desfavoráveis
100	8,0	16,8	0,0
125	11,0	5,8	5,2

(continua)

(continuação)

160	14,0	8,8	5,2
200	17,0	16,3	0,7
250	20,0	19,6	0,4
315	23,0	22,2	0,8
400	26,0	21,8	4,2
500	27,0	24,7	2,3
630	28,0	25,2	2,8
800	29,0	25,9	3,1
1000	30,0	31,5	0,0
1250	31,0	31,8	0,0
1600	31,0	32,6	0,0
2000	31,0	31,1	0,0
2500	31,0	31,0	0,0
3150	31,0	34,5	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			24,7

5.2.2 Parede simples com betume

Esta parede, para além dos BTC simples, possui também betume nas juntas, de modo a “fechar” o mais possível as aberturas entre os BTC. Pretende-se aproximar esta solução da construção real, contribuindo para dificultar a passagem do som entre os 2 meios (emissor e recetor).

Para este tipo de parede os ensaios foram realizados em dias diferentes, mantendo-se os horários para o primeiro ensaio de manhã e o segundo de tarde. Os resultados destas medições são apresentados a seguir.

1) Primeira medição

Tabela 5. 7: Resultados da primeira medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}

Freq. [Hz]	L1 [dB]	L2 [dB]	L2 corr [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	Dn,T
100	86,7	53,1	53,1	19,9	0,44	33,0
125	86,7	64,4	64,4	20,2	0,53	22,6
160	81,0	59,7	59,7	22,8	0,45	20,8
200	76,9	53,8	53,8	25,1	0,71	24,6

(continua)

(continuação)

250	84,0	52,3	52,3	24,3	0,64	32,8
315	89,9	55,5	55,5	25,3	0,56	34,9
400	88,0	56,3	56,3	25,9	0,47	31,4
500	87,9	59,2	59,2	17,7	0,53	29,0
630	90,8	60,2	60,2	16,4	0,51	30,7
800	86,7	57,4	57,4	17,2	0,51	29,4
1000	85,3	48,9	48,9	15,6	0,51	36,5
1250	86,8	48,3	48,3	15,1	0,50	38,5
1600	86,8	46,1	46,1	0,0	0,34	39,0
2000	86,7	43,9	43,9	0,0	0,65	43,9
2500	85,0	40,4	40,4	0,0	0,59	45,3
3150	81,0	30,9	30,9	0,0	0,56	50,6

Na Tabela 5.7 apresentam-se os resultados de todos os parâmetros calculados para a primeira medição, sendo eles: a medição dos níveis sonoros no compartimento emissor (L_1); Medição do ruído sonoro no compartimento recetor (L_2); A medição do ruído de fundo no compartimento recetor (B_2); A medição do ruído no compartimento sonoro corrigido; o tempo de reverberação (T); e por fim o Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$). Todos estes parâmetros são apresentados em decibéis (dB) e medidos segundo uma frequência e hertzes (Hz).

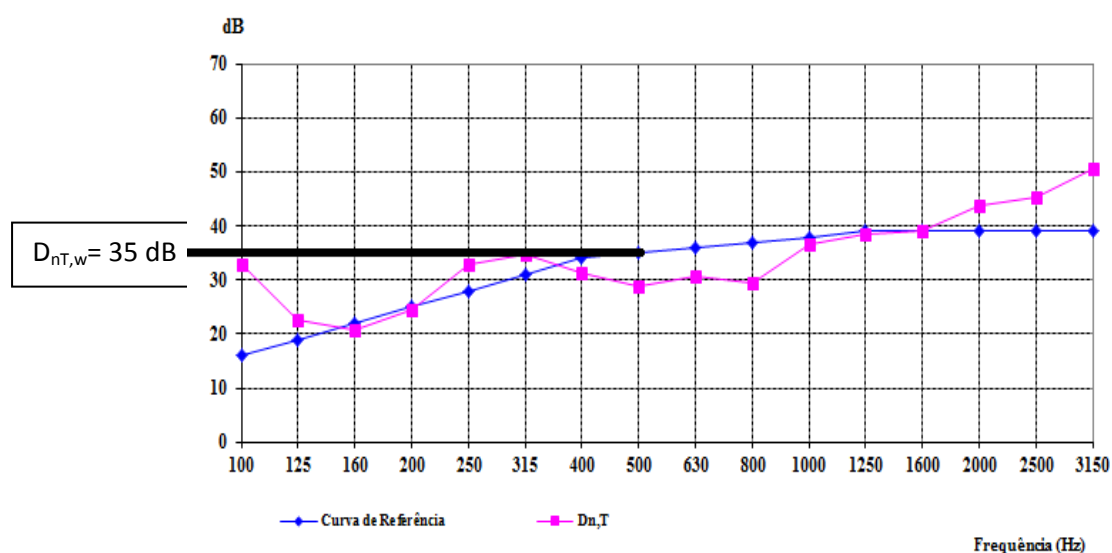


Figura 5. 5: Curva de referência e $D_{n,T}$

Da análise do gráfico da Figura 5.5 pode-se concluir que o valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,w}$), para este tipo de parede, toma a valor de 35dB.

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, a partir da comparação entre os valores do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$), calculado na Tabela 5, e a curva de referência. A comparação entre as 2 curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menos que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtemos um desvio desfavorável de 25,1dB, como se pode verificar na Tabela 5.8.

Tabela 5. 8: Calculo dos desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$

Frequências	Curva de Referência	$D_{n,T}$	Desvios Desfavoráveis
100	16,0	33,0	0,0
125	19,0	22,6	0,0
160	22,0	20,8	1,2
200	25,0	24,6	0,4
250	28,0	32,8	0,0
315	31,0	34,9	0,0
400	34,0	31,4	2,6
500	35,0	29,0	6,0
630	36,0	30,7	5,3
800	37,0	29,4	7,6
1000	38,0	36,5	1,5
1250	39,0	38,5	0,5
1600	39,0	39,0	0,0
2000	39,0	43,9	0,0
2500	39,0	45,3	0,0
3150	39,0	50,6	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			25,1

≤32

Da análise do gráfico da Figura 5.6 pode-se concluir que o valor do índice de redução sonora (R_w), para este tipo de parede tom o valor de 36 dB.

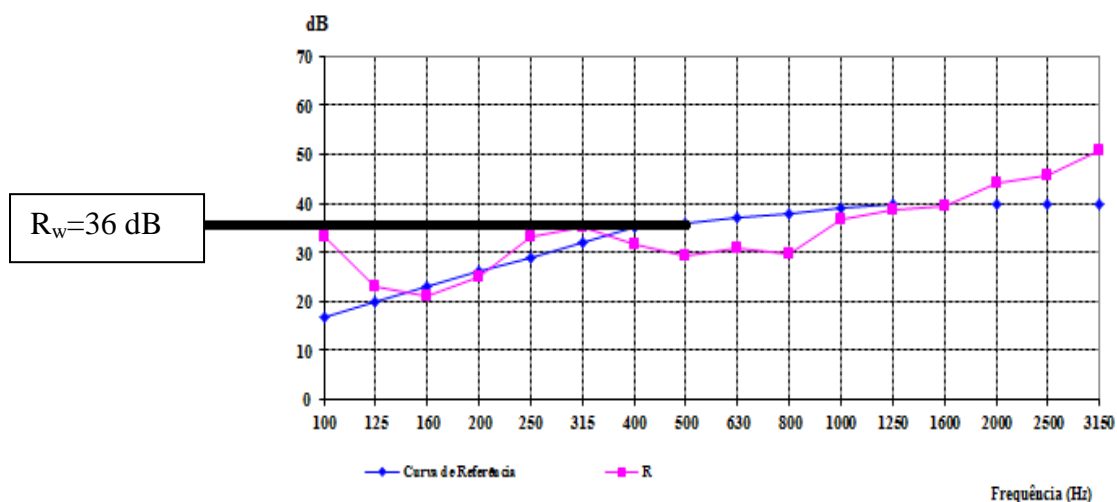


Figura 5. 6: Curva de referência de R

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, tal como valor de $D_{nT,w}$, partir da comparação entre a curva de valores do índice de redução sonora aparente (R), e a curva de referência. A comparação entre as 2 curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menor que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtém-se um desvio desfavorável de 31,1 dB, como se pode verificar na Tabela 5.9.

Tabela 5. 9: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor de R_w

Frequências	Curva de Referência	R	Desvios Desfavoráveis
100	17,0	33,4	0,0
125	20,0	22,9	0,0
160	23,0	21,2	1,8
200	26,0	24,9	1,1
250	29,0	33,1	0,0
315	32,0	35,2	0,0
400	35,0	31,8	3,2
500	36,0	29,3	6,7
630	37,0	31,0	6,0
800	38,0	29,7	8,3

(continua)

(continuação)

1000	39,0	36,8	2,2
1250	40,0	38,8	1,2
1600	40,0	39,3	0,7
2000	40,0	44,3	0,0
2500	40,0	45,6	0,0
3150	40,0	50,9	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			31,1

2) Segunda medição

Tabela 5. 10: Resultados da segunda medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}

Freq. [Hz]	L1 [dB]	L2 [dB]	L2 corr [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	$D_{n,T}$
100	85,3	56,1	56,1	21,3	0,58	29,8
125	83,7	58,7	58,7	21,2	0,41	24,1
160	77,1	60,2	60,2	25,0	0,61	17,8
200	77,4	56,9	56,9	33,1	0,37	19,2
250	84,3	53,8	53,8	32,0	0,33	28,7
315	88	54,9	54,9	26,6	0,70	34,6
400	84,8	57,1	57,1	23,7	0,48	27,5
500	87,7	58,8	58,8	23,3	0,56	29,4
630	90,7	64,0	64,0	22,4	0,55	27,1
800	85,1	57,9	57,9	18,2	0,56	27,7
1000	83,9	48,3	48,3	16,7	0,55	36,0
1250	86,1	48,3	48,3	15,9	0,55	38,2
1600	85,5	46,5	46,5	15,9	0,55	39,4
2000	87	44,1	44,1	18,3	0,58	43,5
2500	85,2	39,9	39,9	17,7	0,52	45,5
3150	81	32,4	32,4	16,7	0,53	48,9

Na Tabela 5.10 apresentam-se os resultados de todos os parâmetros calculados para a primeira medição, sendo eles: a medição dos níveis sonoros no compartimento emissor (L_1); Medição do ruído sonoro no compartimento recetor (L_2); A medição do ruído de fundo no compartimento recetor (B_2); A medição do ruído no compartimento sonoro corrigido; o tempo de reverberação (T); e por fim o Isolamento sonoro a sons de condução

aérea padronizada ($D_{n,T}$). Todos estes parâmetros são apresentados em decibéis (dB) e medidos segundo uma frequência e hertzes (Hz).

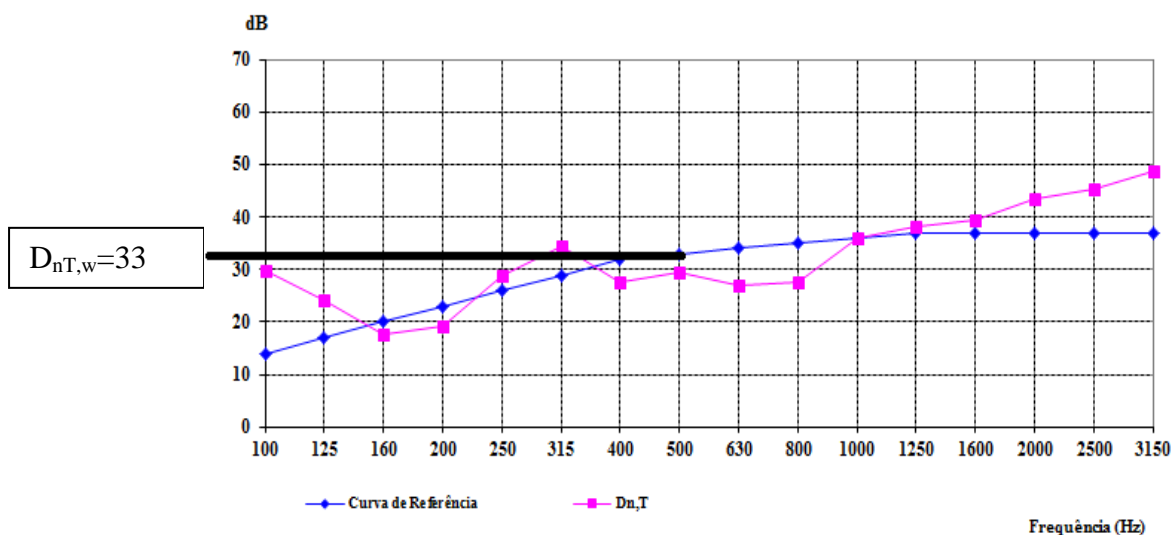


Figura 5. 7: Curva de referência e $D_{n,T}$

Da análise do gráfico Figura 5.7 pode-se concluir que o valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,w}$), para este tipo de parede, toma a valor de 33dB.

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, a partir da comparação entre os valores do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$), calculado na Tabela 7, e a curva de referência. A comparação entre as duas curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menos que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtém-se um desvio desfavorável de 28,3 dB, como podemos verificar na Tabela 5.11.

Tabela 5. 11: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$

Frequências	Curva de Referência	$D_{n,T}$	Desvios Desfavoráveis
100	14,0	29,8	0,0
125	17,0	24,1	0,0
160	20,0	17,8	2,2
200	23,0	19,2	3,8
250	26,0	28,7	0,0
315	29,0	34,6	0,0
400	32,0	27,5	4,5
500	33,0	29,4	3,6
630	34,0	27,1	6,9
800	35,0	27,7	7,3
1000	36,0	36,0	0,0
1250	37,0	38,2	0,0
1600	37,0	39,4	0,0
2000	37,0	43,5	0,0
2500	37,0	45,5	0,0
3150	37,0	48,9	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			28,3

≤ 32

Da análise da Figura 5.8 pode-se concluir que o valor do índice de redução sonora (R_w), para este tipo de parede tem o valor de 33 dB.

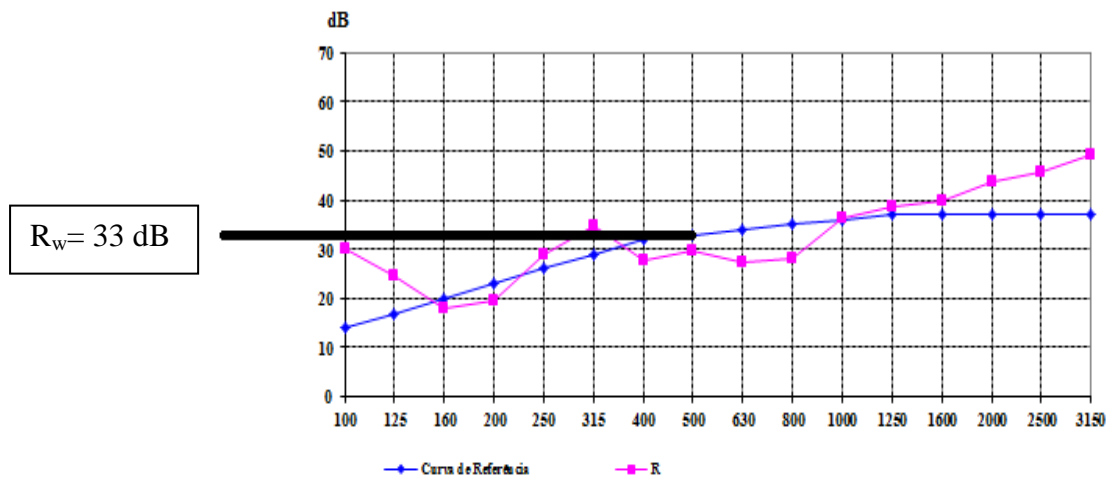


Figura 5. 8: Curva de referência e R

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, tal como valor de $D_{nT,w}$, partir da comparação entre a curva de valores do índice de redução sonora aparente (R), e a curva de referência. A comparação entre as 2 curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menor que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtém-se um desvio desfavorável de 26.4 dB, como se pode verificar na Tabela 5.12.

Tabela 5. 12: Cálculo dos desvios desfavoráveis para o valor de R_w

Frequências	Curva de Referência	R	Desvios Desfavoráveis
100	14,0	30,2	0,0
125	17,0	24,5	0,0
160	20,0	18,1	1,9
200	23,0	19,5	3,5
250	26,0	29,0	0,0
315	29,0	34,9	0,0
400	32,0	27,8	4,2
500	33,0	29,7	3,3
630	34,0	27,4	6,6
800	35,0	28,0	7,0
1000	36,0	36,3	0,0
1250	37,0	38,5	0,0
1600	37,0	39,7	0,0
2000	37,0	43,9	0,0
2500	37,0	45,8	0,0
3150	37,0	49,2	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			26,4

5.2.3 Parede com betume e isolamento de 2 cm.

Esta parede é composta pelo BTC, pelo betume nas juntas e por placas de isolamento térmico em glomerado de cortiça de 2cm. A colocação deste material teve como principal objetivo a aproximação da solução construtiva com os sistemas de construção reais que incorporam uma solução de isolamento térmico.

As medições para este tipo de prede foram realizadas no mesmo dia, sendo que a primeira foi realizada de manhã e a segunda de tarde.

Em seguida são apresentados os resultados das medições nesta parede.

1) Primeira medição

Tabela 5. 13: Resultados da primeira medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}

Freq. [Hz]	L1 [dB]	L2 [dB]	L2 corr [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	$D_{n,T}$
100	85,4	53,4	53,4	17,1	0,58	32,6
125	83,3	59,2	59,2	10,7	0,41	23,2
160	78,9	59,4	59,4	14,1	0,61	20,4
200	75,2	58,1	58,1	16,6	0,37	15,8
250	82,1	52,9	52,9	14,2	0,33	27,4
315	87,2	54,8	54,8	24,3	0,70	33,9
400	86,8	56,4	56,4	22,4	0,48	30,2
500	86,8	58,5	58,5	15,6	0,56	28,8
630	90,2	61,3	61,3	12,6	0,55	29,3
800	84,2	56,2	56,2	13,8	0,56	28,5
1000	84,0	47,5	47,5	15,3	0,55	36,9
1250	84,5	47,7	47,7	16,6	0,55	37,2
1600	84,1	46	46	15,8	0,55	38,5
2000	84,3	41	41	17,7	0,58	43,9
2500	84,0	37,7	37,7	15,9	0,52	46,5
3150	80,3	29,8	29,8	14,8	0,53	50,8

Na tabela 5.13 apresentam-se os resultados de todos os parâmetros calculados para a primeira medição, sendo eles: a medição dos níveis sonoros no compartimento emissor (L_1); Medição do ruído sonoro no compartimento recetor (L_2); A medição do ruído de fundo no compartimento recetor (B_2); A medição do ruído no compartimento sonoro corrigido; o tempo de reverberação (T); e por fim o Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$). Todos estes parâmetros são apresentados em decibéis (dB) e medidos segundo uma frequência e hertzes (Hz).

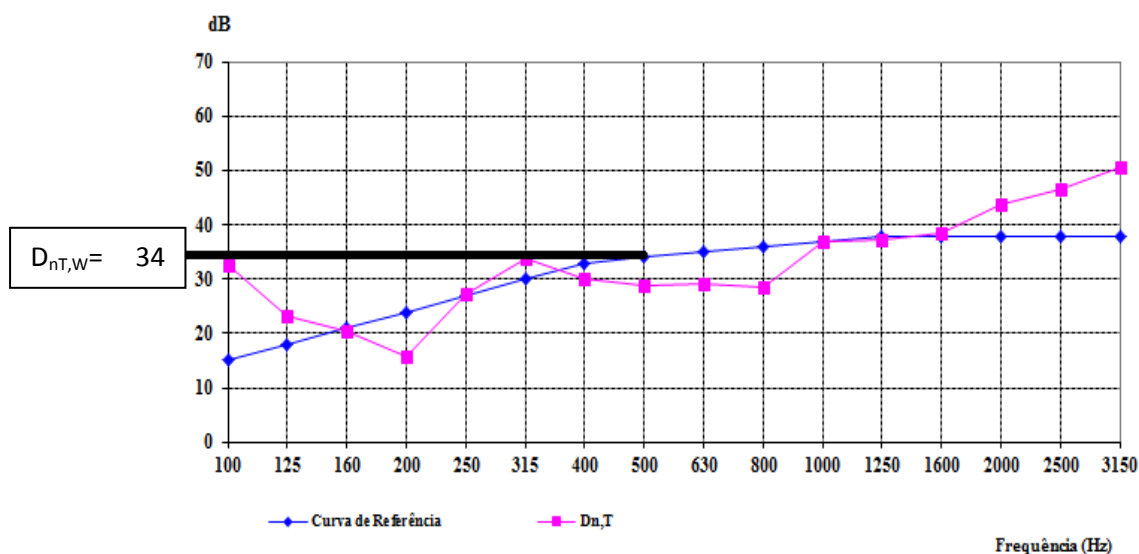


Figura 5. 9: Curva de referência e Dn,T

Da análise do gráfico da Figura 5.9 pode-se concluir que o valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{nT,w}$), para este tipo de parede, toma a valor de 34dB.

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, a partir da comparação entre os valores do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$), calculado na Tabela 9, e a curva de referência. A comparação entre as duas curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menos que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtém-se um desvio desfavorável de 30,9dB, como se pode verificar na Tabela 5.14.

Tabela 5. 14: Desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$

Frequências	Curva de Referência	Dn,T	Desvios Desfavoráveis
100	15,0	32,6	0,0
125	18,0	23,2	0,0
160	21,0	20,4	0,6
200	24,0	15,8	8,2

(continua)

(continuação)

250	27,0	27,4	0,0
315	30,0	33,9	0,0
400	33,0	30,2	2,8
500	34,0	28,8	5,2
630	35,0	29,3	5,7
800	36,0	28,5	7,5
1000	37,0	36,9	0,1
1250	38,0	37,2	0,8
1600	38,0	38,5	0,0
2000	38,0	43,9	0,0
2500	38,0	46,5	0,0
3150	38,0	50,8	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			30,9

≤32

Da análise do gráfico da Figura 5.10 pode-se concluir que o valor do índice de redução sonora (R_w), para este tipo de parede tem o valor de 34 dB.

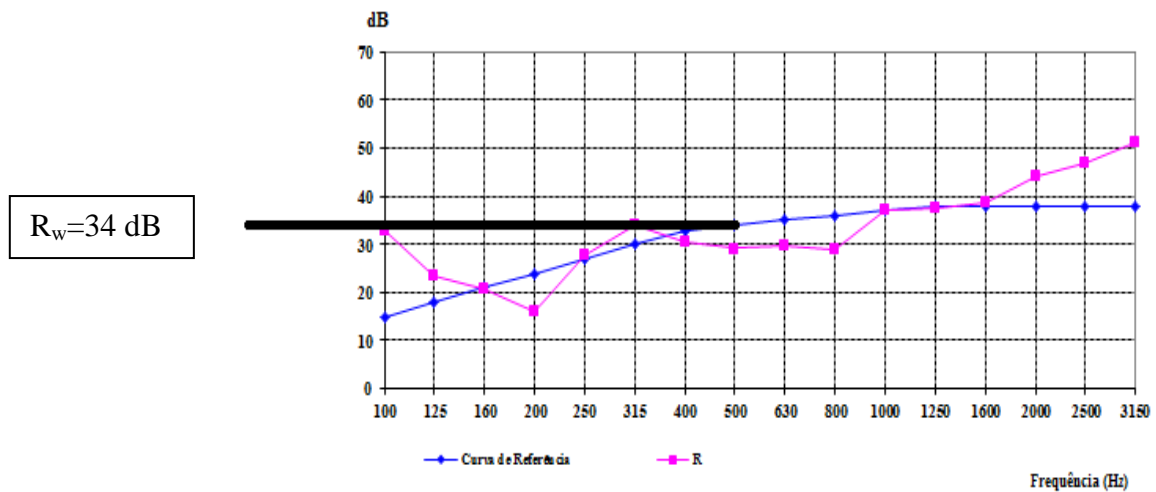


Figura 5. 10: Curva de referência e R

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, tal como valor de $D_{nT,w}$, partir da comparação entre a curva de valores do índice de redução sonora aparente (R), e a curva de referência. A comparação entre as 2 curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menor que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença

entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtém-se um desvio desfavorável de 28,5 dB, como se pode verificar na Tabela 5.15.

Tabela 5. 15: Desvios desfavoráveis para o valor de R_w

Frequências	Curva de Referência	R	Desvios Desfavoráveis
100	15,0	33,0	0,0
125	18,0	23,6	0,0
160	21,0	20,7	0,3
200	24,0	16,1	7,9
250	27,0	27,7	0,0
315	30,0	34,2	0,0
400	33,0	30,5	2,5
500	34,0	29,1	4,9
630	35,0	29,6	5,4
800	36,0	28,8	7,2
1000	37,0	37,2	0,0
1250	38,0	37,5	0,5
1600	38,0	38,8	0,0
2000	38,0	44,3	0,0
2500	38,0	46,8	0,0
3150	38,0	51,1	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			28,5

2) Segunda medição

Tabela 5. 16: Resultados da primeira medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT}

Freq. [Hz]	L1 [dB]	L2 [dB]	L2 corr [dB]	B2 [dB]	T2 [s]	$D_{n,T}$
100	84,4	54,4	54,4	17,1	0,58	30,6
125	80,3	66	66	10,7	0,41	13,4
160	81,2	60,7	60,7	14,1	0,61	21,4
200	82,6	55,2	55,2	16,6	0,37	26,1
250	85,4	53,4	53,4	14,2	0,33	30,2
315	89,0	54,1	54,1	24,3	0,70	36,4
400	86,7	57,4	57,4	22,4	0,48	29,1
500	90,2	59,8	59,8	15,6	0,56	30,9
630	90,2	58,8	58,8	12,6	0,55	31,8

(continua)

(continuação)

800	84,8	55,4	55,4	13,8	0,56	29,9
1000	82,2	47,3	47,3	15,3	0,55	35,3
1250	83,6	47	47	16,6	0,55	37,0
1600	86,6	46	46	15,8	0,55	41,0
2000	86,2	40,8	40,8	17,7	0,58	46,0
2500	86,2	38,3	38,3	15,9	0,52	48,1
3150	81,1	30,6	30,6	14,8	0,53	50,8

Na Tabela 5.16 apresentam-se os resultados de todos os parâmetros calculados para a primeira medição, sendo eles: a medição dos níveis sonoros no compartimento emissor (L_1); Medição do ruído sonoro no compartimento recetor (L_2); A medição do ruído de fundo no compartimento recetor (B_2); A medição do ruído no compartimento sonoro corrigido; o tempo de reverberação (T); e por fim, o isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$). Todos estes parâmetros são apresentados em decibéis (dB) e medidos segundo uma frequência e hertz (Hz).

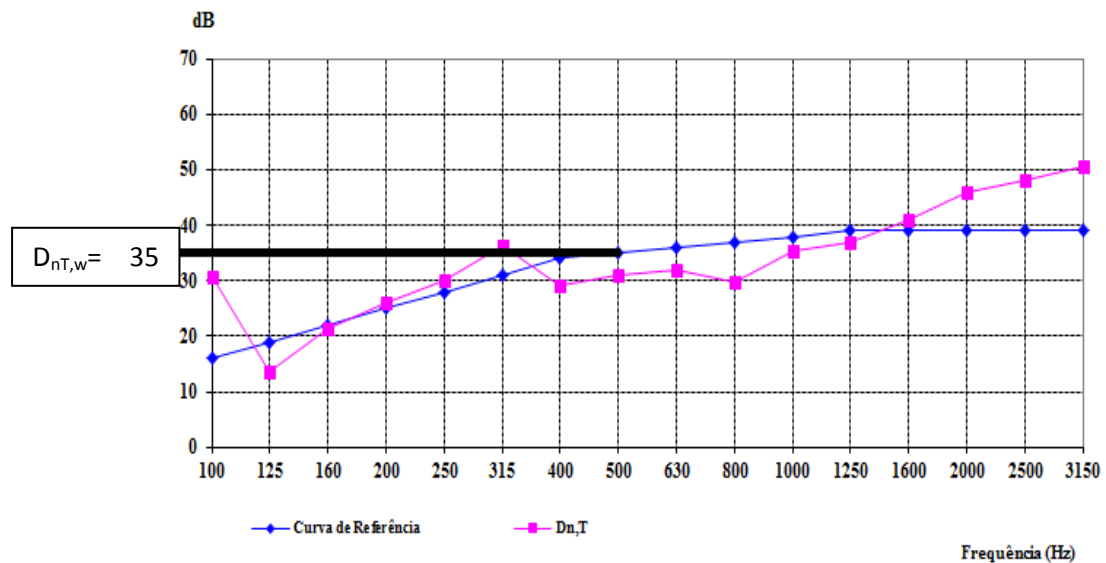


Figura 5. 11: Curva de referência e $D_{n,T}$

Da análise do gráfico da Figura 5.11 pode-se concluir que o valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{n,T,w}$), para este tipo de parede, toma a valor de 35dB.

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, a partir da comparação entre os valores do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizada ($D_{n,T}$), calculado na Tabela 11, e a curva de referência. A comparação entre as 2 curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menos que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as 2 curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtém-se um desvio desfavorável de 31,1 dB, como podemos verificar na Tabela 5.17.

Tabela 5. 17: Desvios desfavoráveis para o valor de $D_{nT,w}$

Frequências	Curva de Referência	$D_{n,T}$	Desvios Desfavoráveis
100	16,0	30,6	0,0
125	19,0	13,4	5,6
160	22,0	21,4	0,6
200	25,0	26,1	0,0
250	28,0	30,2	0,0
315	31,0	36,4	0,0
400	34,0	29,1	4,9
500	35,0	30,9	4,1
630	36,0	31,8	4,2
800	37,0	29,9	7,1
1000	38,0	35,3	2,7
1250	39,0	37,0	2,0
1600	39,0	41,0	0,0
2000	39,0	46,0	0,0
2500	39,0	48,1	0,0
3150	39,0	50,8	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			31,1

≤32

Da análise do gráfico da Figura 5.12 pode-se concluir que o valor do índice de redução sonora (R_w), para este tipo de parede tem o valor de 35 dB.

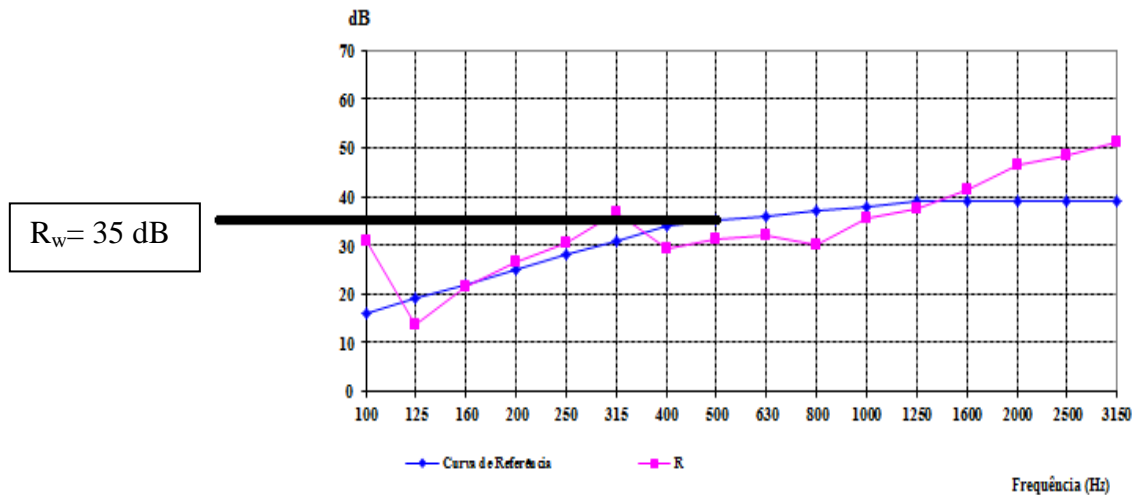


Figura 5. 12: Curva de referência e R

Este valor é obtido na ordenada de 500Hz, tal como valor de $D_{nT,w}$, partir da comparação entre a curva de valores do índice de redução sonora aparente (R), e a curva de referência. A comparação entre as 2 curvas atrás mencionadas, é realizada com valores de 1 dB, e considera-se satisfeita quando o somatório dos desvios desfavoráveis é o mais elevado possível, mas menor que 32 dB. O desvio desfavorável da frequência é o valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência. Para o caso em questão obtém-se um desvio desfavorável de 28,6 dB, como se pode verificar na Tabela 5.18.

Tabela 5. 18: Desvios desfavoráveis para o cálculo do valor de R_w

Frequências	Curva de Referência	R	Desvios Desfavoráveis
100	16,0	31,0	0,0
125	19,0	13,8	5,2
160	22,0	21,7	0,3
200	25,0	26,4	0,0
250	28,0	30,5	0,0
315	31,0	36,7	0,0
400	34,0	29,4	4,6

(continua)

(continuação)

500	35,0	31,2	3,8
630	36,0	32,1	3,9
800	37,0	30,2	6,8
1000	38,0	35,6	2,4
1250	39,0	37,3	1,7
1600	39,0	41,3	0,0
2000	39,0	46,4	0,0
2500	39,0	48,4	0,0
3150	39,0	51,1	0,0
SUM (Desvios Desfavoráveis)			28,6

5.3 Comparação com o RRAE e com soluções convencionais

Para permitir compreender melhor os resultados obtidos é importante compará-los com o valor do índice de isolamento de soluções convencionais. Por outro lado, é, também fundamental fazer o enquadramento dos resultados obtidos para estas paredes de acordo com os valores regulamentares aplicáveis, no âmbito do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), fazendo para se perceber se as soluções cumprem com as exigências regulamentares.

5.3.1 Comparação com o RRAE

O RRAE é o regulamento que regula a vertente do conforto acústico no âmbito do regime da edificação, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações, em articulação com o regime jurídico relativo ao ruído ambiente. Este regulamento está dividido em 3 capítulos, estando organizado da seguinte forma da seguinte forma:

- Capítulo I- Disposições gerais. Este capítulo é composto por 4 artigos;
- Capítulo II- Requisitos acústicos dos edifícios. Este está dividido em 7 artigos, em que cada artigo trata um tipo de construção específica;
- Capítulo III- Fiscalizações e sanções- Está dividido em 4 artigos.

A comparação aqui realizada, incide na análise do capítulo II do RRAE, consoante o tipo de edifício. Importa salientar que foi sempre contabilizado como zona exterior a parte emissora, e zona interior a recetora.

Como para cada tipo de parede temos sempre 2 valores de $D_{nT,w}$, o mais correto será fazer uma média aritmética, de modo a obter um valor único. Na Tabela 19 são apresentados os valores médios do $D_{nT,w}$, para cada tipo de parede.

Tabela 5. 19: Resultado das medições e da média aritmética de $D_{nT,w}$

	1ª medição	2ª medição	Média
Parede simples	25	27	26
Parede com betume	35	33	34
Parede com isolamento	34	35	35

Edifícios habitacionais e mistos e unidades hoteleiras (artigo 5.º):

- $D_{nT,w} \geq 33\text{dB}$ para zonas entre o exterior e quartos ou zonas de estar dos fogos. - Conclui-se que para o caso do primeiro tipo de parede não é verificado o regulamento, já que para a parede simples obteve-se um $D_{nT,w} = 26\text{ dB}$. Já para o caso da parede com betume ou da parede com isolamento, este é verificado uma vez que $D_{nT,w}$ toma os valores de 34 dB e 35 dB respetivamente.
- $D_{nT,w} \geq 50\text{ dB}$ para zonas de separação de dois fogos. - Conclui-se que nenhum das três composições da parede permite a verificação deste requisito do regulamento.
- $D_{nT,w} \geq 48\text{ dB}$ para zonas de separação entre locais de circulação e interior de um fogo. - Como se pode verificar, nenhuma das 3 composições permite a verificação deste requisito do regulamento.
- $D_{nT,w} \geq 58\text{ dB}$ para zonas de separação entre locais de comércio, indústrias, serviços ou diversão e interior de um fogo. - Conclui-se que nenhuma dos tipos de parede permite a verificação deste requisito do regulamento.

Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (Artigo 6.º)

- $D_{nT,w} \geq 30$ dB para escritórios - Conclui-se que, para o caso do primeiro tipo de parede, não é verificado o regulamento, já que para a parede simples obteve-se um $D_{nT,w} = 26$ dB. Já para o caso da parede com betume ou da parede com isolamento, este é verificado uma vez que $D_{nT,w}$ toma os valores de 34 dB e 35 dB respetivamente.
- $D_{nT,w} \geq 25$ dB para restantes recintos - Conclui-se que, é verificado os requisitos do regulamento para os três tipos de parede, já que se obteve-se o valor de 26 dB, 34 dB e 35 dB para a parede simples, parede com betume e parede com isolamento respetivamente.

Edifícios escolares e similares, e de investigação (Artigo 7º)

- $D_{nT,w} \geq 33$ dB para escritórios - Conclui-se que para o caso do primeiro tipo de parede não é verificado o regulamento, já que para a parede simples obteve-se um $D_{nT,w} = 26$. Para o caso da parede com betume ou da parede com isolamento, este é verificado uma vez que $D_{nT,w}$ toma os valores de 34 dB e 35 dB respetivamente.

Edifícios hospitalares e similares (Artigo 8º)

- $D_{nT,w} \geq 33$ dB para escritórios - Conclui-se que, para o caso do primeiro tipo de parede, não é verificado o regulamento, já que para a parede simples obteve-se um $D_{nT,w} = 26$ dB. Já para o caso da parede com betume ou da parede com isolamento, este é verificado uma vez que $D_{nT,w}$ toma os valores de 34 dB e 35 dB respetivamente.

Tabela 5. 20: Tabela Resumo de comparação com os requisitos do regulamento

	Edifícios habitacionais mistos e unidades hoteleiras				Edifícios comerciais e de serviços		Edifícios escolares	Edifícios Hospitalares
$D_{nT,w} \geq$	33 dB	50 dB	48 dB	58 dB	30 dB	25 dB	33 dB	33 dB
Parede simples	Não verifica	Não verifica	Não verifica	Não verifica	Não verifica	Verifica	Não verifica	Não verifica

(continua)

(continuação)

Parede com betume	Verifica	Não verifica	Não verifica	Não verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
Parede com isolamento	Verifica	Não verifica	Não verifica	Não verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica

5.3.2 Comparação com soluções convencionais

Para que, seja possível a comparação com soluções convencionais, é, também, necessário fazer a médias dos valores de R_w obtidos nas 2 medições em cada tipo de parede. Na Tabela 5.21 são apresentados os resultados e a média do R_w .

Tabela 5. 21: Tabela dos resultados das medições e da média do R_w

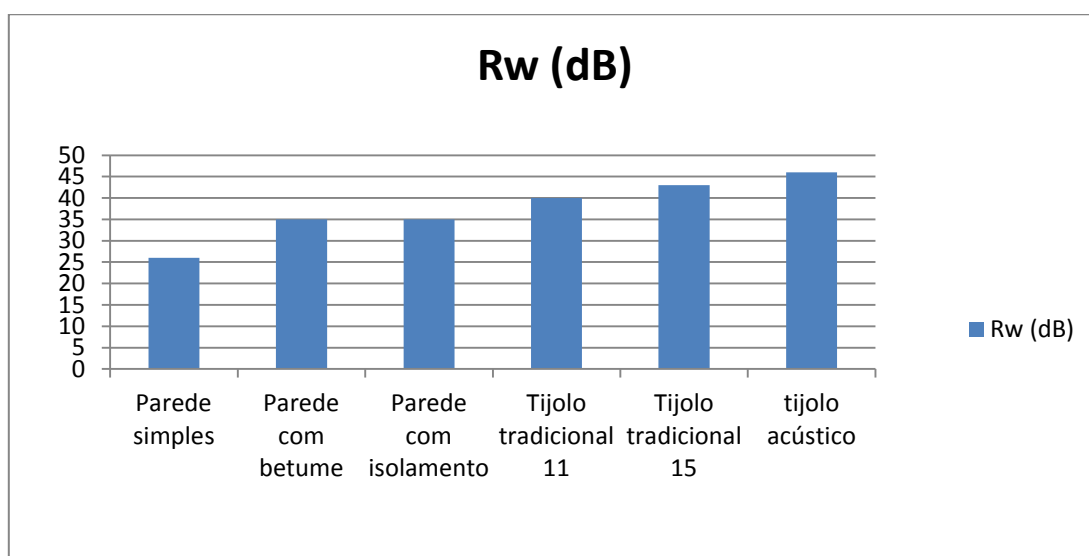
	1ª medição	2ª medição	Média
Parede simples	25	27	26
Parede com betume	36	33	35
Parede com isolamento	34	35	35

Para fazer esta comparação recorreu-se, a título de exemplo, a catálogos da Preceram, de modo a obter o valor do R_w de comparação. Para comparação utilizaram-se 3 tipos de parede, sendo elas: tijolo tradicional de 11cm; tijolo tradicional de 15cm; Bloco acústico 14cm. Os valores do R_w são apresentados na Tabela 5.22.

Tabela 5. 22: Valores de R_w de paredes tradicionais retirados do catálogo Preceram

Tipo de bloco	Tijolo tradicional 30x20x11	Tijolo tradicional 30x20x15	Bloco acústico 30x19x14
R_w (dB)	40	43	46

Comparando os valores da Tabela 5.22 com os valores da Tabela 5.21, conclui-se que os valores calculados para as paredes de BTC são bastante mais baixos que para as paredes de tijolo tradicionais. Contudo, é de salientar que as paredes de tijolo tradicional são todas rebocadas nos dois lados, o que altera significativamente os resultados finais.

**Figura 5. 13: Gráfico de comparação do R_w das paredes**

O gráfico da Figura 5.13, mostra a diferença de valores de R_w entre as diferentes paredes.

Nuna análise mais concreta a realizar futuramente, deverão ser testados os tijolos em alvenaria sem reboco, para se perceber quais são as efetivas diferenças. Pela maior massa dos BTC, comparativamente com os tijolos, é de esperar que o resultado do R_w seja superior.

5.4 Considerações finais

Para a parede simples, existem diferenças de 2 dB entre as duas medições. Esta diferença pode dever-se ao facto de se ter mudado o sonómetro e a fonte sonora de lugar. A primeira

medição que toma o valor de 25 dB, portanto, mais fraca que a de 27 dB, na primeira medição o sonómetro e a fonte sonora poderiam estar mais alinhados, ou mesmo um deles estar situado mais perto de uma zona em que entre os blocos houvesse ranhuras.

No caso da parede com betume, aconteceu o mesmo nível de diferença entre as duas medições. Pode ter o mesmo fundamento apesar das juntas neste caso já estarem tapadas, ou mesmo devido a estas duas medições terem sido feitas em dias diferentes.

No caso na parede com betume e com isolamento de cortiça de 2cm, foi onde ocorreu a menor diferença entre as duas medições. Claramente deve-se ao facto de se ter colocado 2cm de cortiça.

Salienta-se que, se realizou as medições em ambiente controlado, sem ação da transmissão marginal e com um compartimento normalizado, daí os valores de R_w e de $D_{nT,w}$ são próximos ou até iguais.

Capítulo 6

Conclusões finais e desenvolvimentos futuros

6.1 Conclusões

Com a realização deste trabalho o bloco de BTC com SRG da região do Minho ficou perfeitamente caracterizado do ponto de vista da sua capacidade de isolamento acústico.

Depois de analisados os resultados obtidos para os 3 tipos de parede, pode-se afirmar que por si só, os blocos não poderão ser utilizados como paredes divisórias ou de fachada, uma vez que não cumprem com as exigências mínimas que constam do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Contudo, estas exigências são cumpridas, no caso de paredes de fachada, considerando a solução construtiva de uma parede de BTC com os respetivos rebocos e isolamento térmico, utilizada como fachada de um edifício. Isto ficou comprovado no caso das paredes com betume e da parede com isolamento de aglomerado de cortiça de 2 cm.

Através da realização de medições em 3 paredes de constituição diferente (parede junta seca, parede junta com betume e parede junta com betume e 2cm de aglomerado de cortiça), foi possível, também, compreender a variação do comportamento acústico dos BTC em conjunto com outros elementos construtivos. Verifica-se que, da parede junta seca para a parede com junta preenchida por betume a capacidade de atenuação acústica é bastante significativa, passando de 25 dB para 35 dB. No entanto quando comparado a parede de junta preenchida por betume com a parede com junta preenchida por betume e 2 cm de aglomerado de cortiça, verificamos que não há diferença significativa no valor da capacidade de atenuação acústica, tendo-se obtido o mesmo valor de 35 dB para os 2 tipos de parede. Conclui-se, portanto, que o isolamento aglomerado de cortiça, de 2 cm de espessura, não altera a capacidade de atenuação acústica.

Salienta-se que os valores obtidos são baixos quando comparados com os valores mínimos definidos pelo regulamento e quando comparadas com soluções convencionais de tijolo,

contudo, são constituições de paredes “pobres” quando comparadas com as soluções atuais correntes de paredes de fachada.

6.2 Desenvolvimentos futuros

Como foi referido na conclusão, com a realização deste trabalho o bloco de BTC com SRG da região do Minho ficou perfeitamente caracterizado ponto de vista da sua capacidade de isolamento acústico.

Para trabalhos futuros complementares, sugere-se o seguinte:

- A realização de ensaio de caracterização acústica com outro tipo de isolamento. Seria muito interessante ensaiar de novo uma parede de BTC com diferentes isolamentos, tais como o poliestireno expandido ou a lã de rocha. A utilização deste material com diferentes espessuras seria importante para que assim se pudesse perceber a relevância e de que forma a espessura do material intervém na capacidade de isolamento em conjunto.
- Utilizar outros métodos de ensaio e fazer uma comparação crítica dos resultados. O método utilizado foi o Método da Câmara Reverberante, contudo, existem mais métodos, como o Método do Tubo de Ondas Estacionárias e o Método de Delany-Bazley,
- Seria, também, fundamental a realização de ensaios de validação dos vários sistemas construtivos *in situ*. A análise comparativa dos resultados poderá mostrar qual o modelo que melhor traduz o comportamento acústico dos BTC, permitindo a sua calibração.

Referências Bibliográficas

CARVALHO, Joana Maria Pereira Pinto – Construção em Tabique na Região Trás-os-Montes e Alto Douro: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 2009. Dissertação de Mestrado.

EIRES, Rute; JALALI, Said. - “Terra em Seminário”. V Seminário Arquitectura de Terra em Portugal, 2007.

ISO 717-1 – Acaustics. Rating of sound insulation in building and of building elements. Part 1: Airbone sound insulation in buildings and of interior building elements.

Jalali, S., & Eires, R. (2008). Inovações científicas de construção em terra crua.

LIMA, Sofia Araújo; VARUM, Humberto; SALES, Almir – “TEMA 3 – Caracterización de materiales”. Análise da resistência mecânica e da absorção de blocos de terra comprimida feitos com cinza do bagaço da cana-deaçúcar.

LOPES, Vanessa Filipa Cordeiro – Estudo da viabilidade da incorporação de resíduo de sisal em BTC: Aveiro: Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil. 2012. Dissertação de Mestrado.

Murta, A., Varum, H., Pinto, J., Bentes, I., Paiva, A., & Ramos, L. (2010). Benefícios económicos e ambientais inerentes ao uso de materiais estruturais naturais em habitações unifamiliares, 7–22.

NP EN ISO 140 – 4 Medições do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos.

NP EN ISO 354:2007 – Acústica. Medição da absorção sonora em câmara reverberante (ISO 354:2004).

OLIVEIRA, Daniel V.; SILVA, Rui A. – “Alvenaria e Construções Antigas”. Construir em terra ainda faz sentido?, 2012.

PINTO, Rafael Nunes – Caracterização das Paredes de Tabique do Centro Histórico de Viseu: Instituto Politécnico de Viseu Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu. 2013. Dissertação de Mestrado.

Regulamento de Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Decreto-Lei n.º96/2008 de 9 de Junho.

REBOREDO, Eduardo Alexandre da Costa – Comportamento Acústico de Locais de Restauração: Universidade de Aveiro. 2008. Dissertação de Mestrado

SOARES, Edgar Manuel Magina – Melhoria do Solo Residual Granítico com Recurso à Activação Alcalina de Cinzas Volantes: Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro Escola de Ciências e Tecnologia. 2013. Dissertação de Mestrado.

SOARES, Nuno Gabriel Lobo – Soluções Construtivas Tradicionais de Revestimento de Paredes Exteriores em Tabique: Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro Escola de Ciências e Tecnologia. 2012. Dissertação de Mestrado.

Torgal, F. P., & Jalali, S. (2011). O renascimento da construção com alvenaria de terra.

Torgal, P., Eires, R., & Jalali, S. (2009). Construção em terra.

[1] <http://ambiente.hsw.uol.com.br/adobe2.htm> [Acedido em 18 de Março de 2015].

[2]<http://arquitecturasdeterra.blogspot.pt/2008/10/textoa-construo-com-terra-em-portugal.html> [Acedido em 18 de Março de 2015].

[3]<http://www.planetacad.com/PresentationLayer/ResourcesUser/Imagens/conheciment o/estudos/terra2/terra2.pdf> [Acedido em 22 de Março de 2015].

[4]<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001282/128236e.pdf> [Acedido em 22 de Março de 2015].

[5]<http://www.centromaosterra.com/vantagens> [Acedido em 23 de Março de 2015].

[6][http://baukultur.pt/ficheiros_artigos%5CT%C3%A9nicas%20de%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20em%20Terra\(1\).pdf](http://baukultur.pt/ficheiros_artigos%5CT%C3%A9nicas%20de%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20em%20Terra(1).pdf) [Acedido em 2 de Abril de 2015].

[7]<http://pt.wikipedia.org/wiki/Adobe#Caracter.C3.ADsticas> [Acedido em 18 de Março de 2015].

[8]<http://projetotaviva.blogspot.com.br/2009/01/construcoes-em-taipa.html> [Acedido em 20 de Março de 2015].

[9]<http://craterre.org/presentation/> [Acedido em 9 de Julho de 2015].

[10]<http://www.bing.com/images/search?q=zigurates+em+terra&go=Submeter&q=ds&form=QBIR> [Acedido em 20 de Março de 2015].

[11]<http://www.previcon.pt/fichastecnicas/ficha%20tecnica%20bloco%20isols%C3%B3nico%20previcon.pdf> [Acedido em 12 de Julho de 2015].